

DENİZ DÜZEYİ GÖZLEMLERİNİN EN KÜÇÜK KARELERLE SPEKTRAL ANALİZİ

R. A. Abbak, A. Üstün

Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, Konya, aabbak@selcuk.edu.tr,
austun@selcuk.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada En Küçük Karelerle Spektral Analiz (EKKSA) tekniği kullanılarak saatlik deniz düzeyi gözlemlerinin analizi yapılmıştır. Deniz düzeyi gözlemleri jeodezide zaman dizilerine güzel bir örnektir. Bu gözlemler, diğer deneysel zaman dizilerinde olduğu gibi içerisinde kısa boşluklar, trend, datum kayıklıkları ve eşit olmayan veri aralıklarını bulundurmaktadır. Bu etmenler çoğu zaman analiz için zorlaştırıcı etki yapar. Geleneksel yöntemlerde (Hızlı Fourier Dönüşümü gibi) doğrusal trend ve datum kayıklıkları vb etmenleri yok sayılırken, kısa boşluklar ve eşit olmayan veri aralıkları gibi etmenlerde de enterpolasyon teknikleri kullanılarak ara değerler kestirilir. Bu durum, hem dizilerin içindeki gerekli bilginin yok sayılmasına hem de yapay sinyallerin elde edilmesine neden olur. Bu da analiz işlemi için istenmeyen sonuçlar doğması anlamına gelmektedir. İşte, böylesi zorlukların üstesinden gelebilecek yöntemlerden biri de EKKSA'dır. Sonuç olarak, bu zorlukları içeren deniz düzeyi gözlemlerinin analiziyle üç adet gizli periyodiklik belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: En Küçük Kareler Yöntemi, Spektral Analiz, Periyot, Periyodiklik

ABSTRACT

LEAST-SQUARES SPECTRAL ANALYSIS OF THE SEA LEVEL OBSERVATIONS

In this study, hourly sea level observations are analysed using Least-Squares Spectral Analysis (LSSA). The sea level observations are samples of time series in geodesy. These observations, similar to other experimental time series, have short gaps, trends, datum shifts (offsets) and unequally spaced data. These factors sometimes make compelling effects to analyse. In traditional methods (such as Fast Fourier Transform), some factors, such as trend and datum shift, are pretended that they are unexistent, others (e.g. short gap and unequally spaced data) are taken over by filling gaps using interpolating techniques. This case cause that both requisite knowledge in time series is accepted absent and synthetic signal may be formed. This means that unwanted results occur during the analysing process. There is a method, called LSSA, which can take over these problems. Consequently, it is determined that there are three hidden periodicity by analysing of sea level observations consist of these effects.

Keywords: Least-Squares Methods, Spectral Analysis, Period, Periodicity

1. GİRİŞ

Jeodezik gözlemlerin hemen hepsi doğada var olan fiziksel kuvvetlerin (veya süreçlerin) geometrik izlerini taşır. Bu ize jeodezinin tanımı içerisinde de rastlanır: *jeodezi, zamanın bir fonksiyonu olarak yeryuvarı şeklinin ve yerçekimi alanının belirlenmesi ile uğraşan bir bilim dalıdır*. Bu tanıma göre şekil ve çekim alanı problemini çözmek için, bazı jeodezik gözlemlere gereksinim duyulur. Kenar, doğrultu ve yükseklik farkı jeodezide sıkça kullanılan gözlemlerin başında gelir. Bu gözlemlerden bazıları herhangi bir değişkenden bağımsız olabileceği gibi bir ya da daha fazla değişkene de bağımlı olabilir. Örneğin ayın ve güneşin fiziksel çekim etkisi nedeniyle zamana bağlı değişimler gösteren deniz düzeyi gözlemleri en çok tanınan gözlem türleridir. Tıpkı bağımsız gözlemlerde olduğu gibi rasgele süreçlerdeki bilinmeyen parametrelerin belirlenmesi de jeodezik analizin konusu içindedir.

Bir bağımsız değişkene (zaman ya da konum) bağlı olarak gerçekleşen ve zaman dizileri olarak da adlandırdığımız ardışık gözlemlerin analizi sunulan çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu ve benzer çalışmalarda zaman dizilerinin analizini gerekli kılan asıl neden, süreklilik arz eden olayları gözlemleyerek onların doğasını anlamaya çalışmak ve elde edilen sonuçlardan yola çıkarak geleceğe ilişkin kestirimlerde (prediksyonda) bulunmaktır.

Zaman dizilerinin analiz işlemi birçok yöntemle yapılabilir. Bunlar harmonik, Fourier, dalgacık (wavelet), spektral analiz veya diğer sayısal filtreler (alçak geçiş, hareketli ortalama ve kalman filtreleri gibi) dir. Her yöntem kendine göre bazı kısıtlamalara veya zorunluluklara sahiptir. Bunlar; verilerde datum kayıklığı, trend (doğrusal, polinomal veya üstel) ve kısa boşlukların olması ve yahu da verilerin eşit aralıklı ve ağırlıklı olmaması gibi etmenler analiz işlemi zorlaştırır. Bu kısıtlamaların üstesinden gelebilmek için bazı yapay yöntemlerden yararlanır. Çoğu kez trend olduğu durumlarda yokmuş gibi davranılır. Datum kayıklığı olduğu durumlarda her datum için ayrı analiz yapılır. Bu ise analizin işleminin bütünlüğünün bozulmasına anlamına gelir. Verilerde kısa boşlukların olması veya eşit aralıklı olmaması halinde, harmonik analiz metoduyla parametreler hesaplanarak veya enterpolasyon teknikleri kullanılarak ara değerler hesaplanır. Ancak sözü edilen yapay yöntemlerin kullanımı nedeniyle analiz işlemi için doğru sonuçların elde edilmesinde yeni sorunlarla karşılaşılması olasıdır. Verilerin doğallığını bozmadan analiz

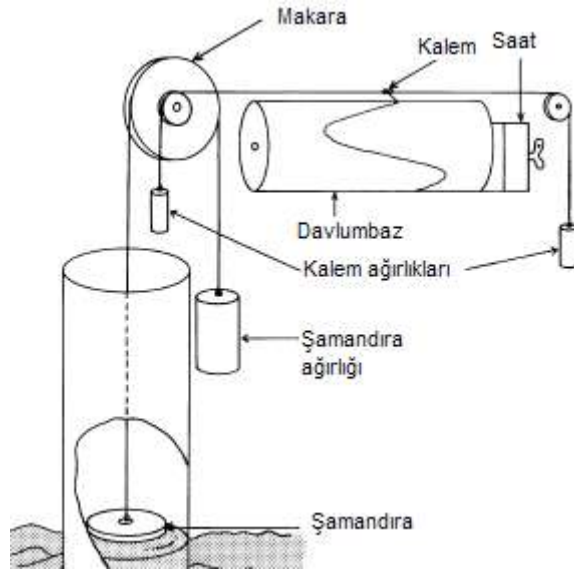
işlemini yapacak alternatif bir yöntemler de geliştirilmiştir. Bunlardan biri En Küçük Karelerle Spektral Analiz (EKKSA) yöntemidir.

EKKSA, Vaniček tarafından 1969-1971 yıllarında ortaya atıldı ve geliştirildi (Vaniček, 1969a; 1971). Bu nedenle literatürde Vaniček spektral analiz olarak da adlandırılır (Taylor ve Hamilton; 1972). Sonraki yıllarda diğer bilim adamları tarafından yöntemin geliştirilmesine yönelik çalışmalar (Wells vd., 1985) ve uygulamalar yapıldı. Elektronik uzaklık ölçerlerle elde edilmiş bazı ölçümlerinin analizi (Craymer, 1998), gravite verilerine ilişkin zaman dizilerinin analizleri (Omerbashich, 2003) yöntemin gelişim ve kullanım sürecine katkı sağlamış çalışmalardan bazılarıdır. Ayrıca, özellikle astronomi ve jeofizik gibi yerbilimlerinde olmak üzere, öteki disiplinlerde de EKKSA ya dayalı birçok çalışmadan da söz etmek olanaklıdır (Mantegazza, 1997; Espy ve Witt, 1996).

EKKSA'nın asıl amacı, yukarıda bahsedilen kısıtlamaları veya analizi zorlaştırıcı etmenleri içeren zaman dizileri içerisindeki gizli periyodikliklerin belirlenmesi ve bu periyodikliklere neden olan fiziksel olayların tespit edilmesidir. Bu amaçla bu çalışmada da deniz düzeyindeki periyodik değişimleri belirlemek ve değişime neden olan doğal olayları tespit etmek amacıyla bir araştırma yapılmıştır.

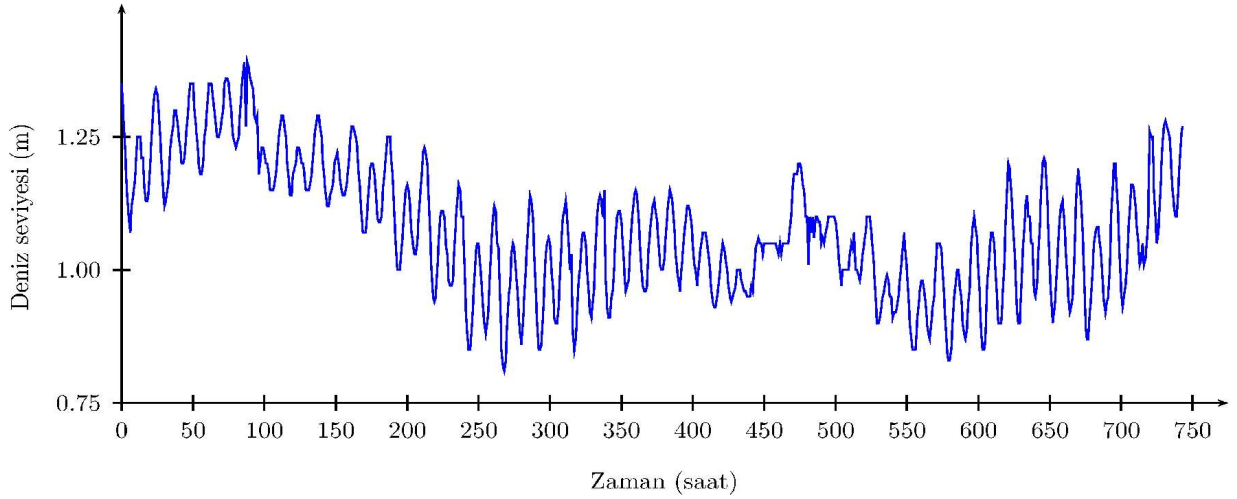
2. DENİZ DÜZEYİ GÖZLEMLERİ

Diğer disiplinlerde olduğu gibi jeodezide de zaman dizileri söz konusudur. Bunlara bir güzel örnek, deniz düzeyi gözlemleridir. Deniz düzeyi ölçme sistemleri genel olarak analog ve sayısal (digital) olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 1'de görülen analog sistemler, dönen bir davlumbaz üzerindeki kağıda deniz düzeyinin anlık olarak kaydedilmesi esasına göre çalışır. Davlumbaz üzerindeki bir kalem deniz düzeyi hareketini kağıda grafik olarak gerçek zamanda aktarır. Veriler grafik olduğu için sayısal analize uygun değildir. Bu nedenle analog verinin sayısal hale getirilmesi gerekir. Günümüzde bu yöntem bazı mekanik problemler ve sayısallaştırma hataları nedeniyle tümüyle terk edilmiştir.



Şekil 1: Basit tipli mareograf istasyonu

Dijital sistemlerde ise ölçüm işi elektronik aletlerle otomatik hale getirilmiştir. Aslında temel prensip yine analog sistemle benzer olup, sadece okuma işleminde elektronik ölçer kullanılmaktadır. Zaman içerisinde elektronik alet 15 dakikalık aralıklarla ölçümler yapar ve gün içindeki saatlik değerleri bu verilerin ortalamalarını olarak bulur. Bu sistemde veriler dijital olduğu için anlık olarak bir telefon hattıyla veri işleme merkezine ulaştırılır. Deniz düzeyi gözlemlerine örnek olarak Antalya Mareograf istasyonuna ait saatlik ocak ayı gözlemleri Şekil 2 de gösterilmektedir (H.G.K 1991).



Şekil 2: Antalya Mareograf istasyonunun ocak ayı gözlemleri

2.2 Deniz Düzeyi Değişimine Neden Olan Etkenler

Bilimsel deniz düzeyi analizinin temeli, uzun periyotlu zaman dizilerinin analiz edilmesine dayanır. Bir dizideki deniz düzeyi gözlemi genel anlamda aşağıdaki üç bileşene ayrıştırılabilir (Ainscow vd., 1985):

$$\text{Gözlem} \approx \text{ortalama deniz düzeyi} + \text{gel-git} + \text{meteorolojik artıklar}$$

Bu bileşenlerin her biri ayrı fiziksel süreçlerce kontrol edilir ve bileşenlerin birbirleriyle korelasyonu yoktur. Bu bileşenleri kısaca tanıtmak gerekirse;

Ortalama deniz düzeyi en az bir yıllık zaman sürecinde saatlik gözlemlerin aritmetik ortalamasıyla belirlenir. Bilimsel ve jeodezik amaçlar için kesin bir ortalamadan ya da ortalama değer zamana bağlı değişiminden söz etmek gerekirse gözlem süresinin en az 20 yıllık bir süreci kapsamalıdır.

Gel-git bazı jeofiziksel etkilerle tutarlı, belli bir genlik ve fazı olan periyodik deniz hareketleridir. Periyodik harekette, ayın ve güneşin başta olmak üzere gök cisimlerinin konumlarının ve çekim alanlarının büyük okyanus kitlelerine olan etkisi asıl pay sahibidir. Gök cisimlerinin uzaydaki konumlarının sonucu oluşan harekete gravitasyonel gel-git de denir.

Meteorolojik artıklar hava durumundaki farklılıklara bağlı olarak oluşan düzensiz (rasgele) değişimleri ifade eder. Bu bileşen bazen kabarma (surge) etkisi olarak da adlandırılır.

Yukarıdaki bileşenlerin yanı sıra öteki atmosferik olaylar, deniz altı depremleri (tsunami) ve yer kabuğu hareketleri vb. etkiler de deniz düzeyi değişimine neden olur.

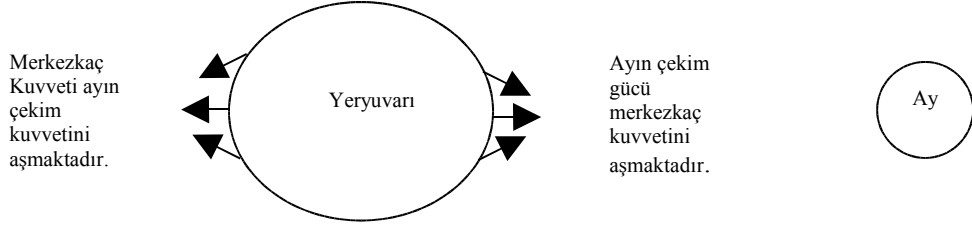
Ay ve güneş'in yarı günlük, günlük, aylık ve yıllık hareketlerinin sonucunda deniz düzeyi birbirleriyle tutarlı periyodik salınımlar yapar. Deniz düzeyindeki salınımların süresi ile bu hareketlerin süresinin örtüşmesi beklenir. Astronomik gel-git olarak adlandırılan bu doğa olayı üzerine yapılan araştırmaların geçmişi Newton'un çekim yasasının keşfine kadar gider. Fakat bilimsel ve pratik açıdan gel-git olayının anlaşılmasında, harmonik (salınım) kuramının geliştirilmesi önemli bir rol oynar. Gel-gitteki dalgalanmaların gelgidi yaratan ve aynı periyoda sahip kuvvetlerle açıklanması gerektiği düşüncesi bu kuramın çıkış noktasını oluşturur.

Gel-git bileşenini oluşturan kuvvetler esas olarak kütleçekim kuvveti ve dünyanın kendi etrafında dönmesi nedeniyle oluşur. Kütleçekim kuvvetleri atalet, çekim, etki ve tepki yasalarıyla açıklanabilir. Newtonun çekim yasası kısaca şöyle ifade edilir; evrende iki cisim birbirini, kütlelerinin çarpımı ile doğru, aralarındaki mesafe ile ters orantılı olarak F kuvvetiyle çeker. Söz konusu çekim kuvveti,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. Eşitlikte geçen G , skalar büyüklük olup, büyüklüğü yalnızca seçilen kitle, uzunluk ve kuvvet birime bağlı olarak değişen çekim sabitesidir (Gürdal, 2002). Eşitlikte m_1 ve m_2 yerine dünya ve ayın toplam kütleleri ve r mesafesi yerine ay ve dünya arasındaki uzaklık değeri yazılırsa dünya ve ay arasındaki çekim kuvveti belirlenebilir. Ayın çekim etkisinin yanı sıra özellikle güneş ve diğer gezegenlerinde benzer çekim kuvvetleri de vardır.

Gel-git oluşturan diğer etki de dünyanın kendi etrafında dönüşüdür ki bu hareket merkezkaç kuvvetini meydana getirir. Merkezkaç tanımı olarak bir cismin dönme sonucu merkezden savrulmasıdır. Dünya üzerinde bir başlangıç noktasından belirli bir yönde bırakılan paçacık kuzey yarımkürede sağa doğru kıvrılan eğri yol izler. Güney yarımkürede bu eğri sola doğrudur. Bu etki çok küçük değer olmasına karşın deniz düzeyini günün belli saatlerinde etkiler (Şekil 3).



Şekil 3: Deniz düzeyine merkezkaç ve ayın etkisi

Bu çalışma deniz düzeyi gözlemlerini ön analiz işlemine sokmadan yani orijinalliğini bozmadan yarıgünlük ve günlük gelgit bileşenlerinin kestirilmesi üzerine yapılmıştır. Bu nedenle gel-git bileşenlerinin periyotları deniz düzeyi hareketiyle benzerlik gösterir (Tablo 1).

Gel-Git Bileşeni	Periyot (Güneş saati)	Tanım	Açıklama
M2	12.42	Temel Ay	Yarı-günlük
S2	12.00	Temel Güneş	Yarı-günlük
N2	12.66	Ay büyük eliptiki	Yarı-günlük
K2	11.97	Ay Güneş ortak	Yarı-günlük
K1	23.93	Ay Güneş ortak	Günlük
O1	25.82	Temel Ay günü	Günlük
P1	24.07	Temel Güneş günü	Günlük
Q1	26.87	Ay büyük eliptiki	Günlük
MF	327.90	Ay iki haftası	Uzun dönem
MM	661.30	Güneş ayı	Uzun dönem
SSA	4383.00	Yarı Güneş yılı	Uzun dönem

Tablo 1: Gel-git olayına ilişkin temel bileşenler

2.3 Zaman Dizilerinin Analizi

Zaman dizisi belli zaman aralıklarında fiziksel büyüklüğün (değişkenin) ardışık değerlerinin kaydedilmesiyle ortaya çıkar. Zaman dizilerinde, bağımsız değişken olarak çoğunlukla -adından geldiği gibi- zaman olsada jeodezide sıkça karşılaşılan bir durum olarak konum da olabilir. Zaman aralığı yani veri kayıt aralığı genellikle eşit kabul edilir. Eşit olmadığı durumlar da söz konusudur. Bu durumlarda harmonik analiz veya lineer enterpolasyon teknikleri kullanılarak olması gereken eşit aralıklı değerler kestirilir.

Zaman dizilerinin analiz diğer disiplinlerde olduğu gibi jeodezide de önemli yer tutmaktadır. Bilim adamları zaman dizileri yardımıyla fiziksel sürecin geçmiş ve gelecek değerlerine kestirimlerde bulunur. Dizilere çoğunlukla polinomlarla yaklaşılar. Ama bu her zaman doğru değildir. Çünkü bazı durumlarda diziler salınımlar da yapar. Bu durumda trigonometrik fonksiyonlar analiz işleminde kullanılır. Deniz düzeyi gözlemlerinde yukarıda bahsedilen salınım yapan zaman dizilerine bir örnektir. Bu gözlemler ancak trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilebilir.

3. EN KÜÇÜK KARELERLE SPEKTRAL ANALİZ

EKKSA tekniği, Vanıček tarafından ilk kez 1969 yılında ortaya atıldı ve sonraki yıllarda da geliştirilmeye devam edildi (Vanıček, 1969a; 1971). Teknik Alman bilim adamı Gauss'un en küçük kareler yaklaşımının deneysel zaman dizilerinin analizinde uygulanmasıdır.

Deneysel zaman dizisi, sinyal (signal) ve gürültü (noise) olarak iki kısımdan oluşur. Ölçüye bozucu etki yapan gürültü, rasgele ve sistematik olmak üzere ikiye ayrılır. İdeal gürültü, hiçbir bağımlı değişkenle korelasyonlu olmayan ve beyaz gürültü olarak da adlandırdığımız rasgele gürültü çeşididir. Ama uygulamada sistematik gürültüler de vardır ve jeodezik ölçüyü bir değişkenle korelasyonlu olarak etkiler. Sistematik gürültü de, periyodik ve periyodik olmayan diye ikiye ayrılır. Sistematik gürültü, fonksiyonlar yardımıyla tanımlanabilir niteliktedir. Asıl amaç bu sistematik gürültü ifade eden parametrelerin kestirilmesidir. Periyodik olmayan gürültü, datum kayıklıkları, trend (lineer, kuadratik, üstel v.s.) gibi bileşenlerden oluşur. Periyodik olan gürültüler ise zaman içerisinde kendini tekrar eder.

Bu tanımlamaları yaptıktan sonra EKKSA'nın matematiksel teorisine geçilebilir. Gözlenen zaman dizisi $f(t)$, zamanın bir fonksiyonu olsun ($t_i, i = 1, 2, \dots, m$). Burada t değeri eşit aralıklı olmayabilir. EKKSA'nın asıl amacı bu fonksiyon içerisindeki gizli periyodikliği (özellikle fonksiyonun içinde hem sistematik hem de rasgele gürültü var ise) tespit etmektir. Böylece f zaman dizisi,

$$g = Ax \quad (2)$$

şeklinde modellenebilir. Buradaki A katsayılar matrisi ve x bilinmeyenler vektörüdür. A matrisi hem sinyali hem de gürültü bileşenini kapsar. Sinyal ve gürültü arasındaki ilişki tam olarak belli değildir. A matrisinin parametreleri,

$$A = [\cos \omega_i t, \sin \omega_i t] \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Parametreleri hesaplamak için, en küçük kareler tekniği kullanılırsa, g ve f fonksiyonları arasındaki farkı minimum yapılır. Buna göre en küçük kareler gösterimi,

$$\hat{r} = f - \hat{g} = f - A(A^T A)^{-1} A^T f \quad (4)$$

halini alır. Bu eşitlikte; \hat{g} , f 'in dik izdüşümü olup, A matrisinin bir kolon vektörü tarafından meydana getirilir. Bu, izdüşüm teoreminin sonucunda oluşur (Wells vd., 1985). Kısaca f fonksiyonu, kendisini oluşturan \hat{g} sinyal ve \hat{r} gürültü fonksiyonuna ayrıştırılır ($\hat{g} \perp \hat{r}$).

Benzer şekilde spektral değeri (s) bulmak için, \hat{g} fonksiyonuna ikinci izdüşüm yapılır. Bu durum Hilbert uzayında, vektör uzaylarının ortagonallığıyla ilgilidir. Kısaca spektral değer, f fonksiyonun \hat{g} fonksiyonuna ikinci izdüşümünün, f fonksiyonun norm değerine bölümüyle elde edilir. Bunun gösterimi,

$$s = \frac{\langle f, \hat{g} \rangle |f|}{|f|^2} = \frac{\langle f, \hat{g} \rangle}{f^T f} = \frac{f^T \hat{g}}{f^T f} \quad (5)$$

şeklinde bir spektral değer, bir frekans için hesaplanmak istendiğinde,

$$s(\omega_i) = \frac{f^T \hat{g}(\omega_i)}{f^T f} \quad (6)$$

halini alır. Buradaki $\omega = 2\pi f$ açısal (radyal) frekans olup analizi yapan kişinin isteğine göre değer alır. Ama frekansları belirlerken alt ve üst sınırlamalar vardır. Alt sınır veri sayısının tersidir. Üst sınır ise nikuistik olarak da adlandırdığımız temel frekanstır. Bu frekans,

$$f_N = \frac{1}{2\Delta t} \quad (7)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Buradaki Δt iki veri arasındaki zaman farkıdır. Nikuistik frekans tanım olarak, anlamlı olabilecek en büyük frekans değerini ifade eder.

Bu aşamadan sonra hesaba geri döndüğümüzde, spektral değer her bir frekans değer için tek tek hesaplanır. Ama bu değerler tek başına bir anlam ifade etmez. Bu nedenle güç spektrumuna geçilir.

$$GSY_{EKK} = \frac{Q_n}{f} \left[\frac{s}{1-s} \right] \quad (8)$$

Formülde geçen GSY_{EKK} ; en küçük karelerin güç spektrum yoğunluğunu, Q_n ; gürültü bileşenin kuadratik formunu, f ise frekansı temsil eder (Pagiatakis, 2000). Bu eşitlik herhangi bir dizinin belli bir frekans aralığında güç spektral yoğunluğunu hesaplamak için kullanılır. Bu değerlerden büyük olan, o dizi içindeki periyodun göstergesidir. Buradaki büyüklük ifadesi belli bir güven seviyesi ile anlam kazanır. Bir dizi için güven seviyesi (GS) Pagiatakis (1999)'de yer alan **teorem 3** ve **teorem 4** le geliştirilen formüller yardımıyla hesaplanabilir.

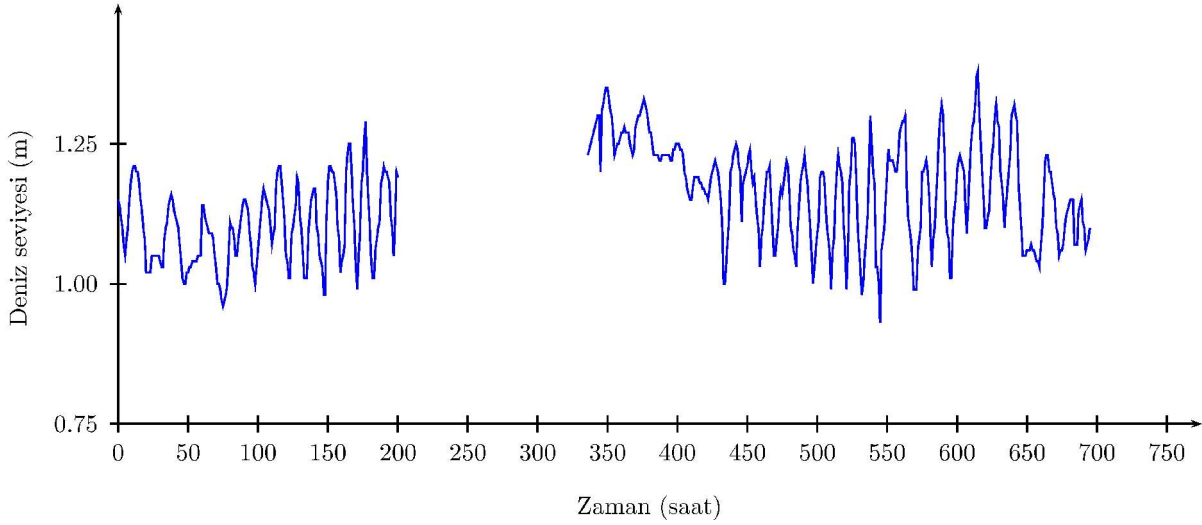
$$GS = (1 - \alpha^{2/n-u}) * 100 \quad (9)$$

Eşitlikte geçen n : veri sayısı u : bilinmeyen sayısını temsil eder. Böylece istenen güven aralığının (örn. $\alpha=0.95$) üzerindeki spektrum değerleri, dizi için sabit periyodu belirler. Ayrıca Pagiatakis (1999) da geçen diğer istatistik testler, jeodezik metodoloji literatüründe kolayca bulunabilir (bkz. Vaniček ve Krakiwsky, 1986).

4. SAYISAL UYGULAMA

Uygulama aşamasında, EKKSA tekniği kullanılarak Antalya Mareograf istasyonuna ait 1990 yılı gözlemler analiz edilmiştir. Söz konusu gözlemler istasyonun analog (grafik) veri ürettiği sürece aittir. Ama uygulama kullanılan veriler, bu gözlemlerin Harita Genel Komutanlığınca sayısallaştırılıp kaba hataları düzeltildikten sonra elde edilen sayısal değerlerdir (Bknz. H.G.K, 1991).

Analize işlemine başlamadan evvel, veriler grafik haline getirilmiş, böylece verilerde bulunan datum kayıklıkları trend ve veri boşlukları açık olarak görülmesinde bir adım atılmıştır. Veriler incelendiğinde, girişte bahsedilen analizi zorlaştırıcı birçok etmenlerin bulunduğu açıkça görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4: Bozucu etmenler içeren boşluklu bir veri örneği (nisan ayı)

Analiz işlemi, bu tekniğin algoritması kullanılarak, FORTRAN programlama dilinde kodlanmış LSSA.exe aracılığıyla yapılmıştır (Wells vd.,1985). Algoritma gereği program öncesinde verilerde bulunan bilinen bileşenlerin (datum başlangıçları, trendin olup olmadığı ve varsa etkin periyotların değerinin) girilmesi gerekmektedir. Daha sonra işleme geçilir.

Analiz, saatlik verilerin aylık gruplar halinde işleme sokulmasıyla yapılmıştır. Periyot aralığı nikuistik fekansın tersi (2 saat) ile veri uzunluğunun bir eksiği arasında değişen değerler olacak şekilde seçilmiştir. En uygun periyodu yakalayabilmek içinse periyot sayısı 5000 belirlenmiştir. Her periyot için ω açısal frekans değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik (6) de verilen formül yardımıyla bu frekansların spektral değerleri hesaplanmıştır. Eşitlik (7) yardımıyla her spektral değerlerin yoğunlukları belirlenmiştir. Bu değerlerden güven seviyesinin üzerinde olanlar gizli periyodikliğin belirtisi olmuştur. Bu kez de ters işlem yapılarak açısal frekanslardan yeniden periyotlar belirlenmiştir.

Bu şekilde her ay için bu işlem tekrarlanarak analize devam edilmiştir. Sonuçta; birbiriyle tutarlı üç farklı periyot grubu tespit edilmiştir. Bunlar tablo 2’de sıralanmıştır.

Aylar	1.periyot	2. periyot	3.periyot
Ocak	11.982	12.412	24.008
Şubat	12.001	12.433	24.074
Mart	11.942	12.385
Nisan	12.116	12.493	23.958
Mayıs	11.948	12.330	23.870
Haziran	11.957	12.385	24.016
Temmuz	12.049	12.407	24.041
Ağustos	12.034	12.422	23.870
Eylül	12.000	12.400	23.901
Ekim	11.977	12.407	23.813
Kasım	12.014	12.447	23.732
Aralık	11.977	12.422	23.870

Tablo 2: Hesaplanan periyotlar (saat)

5. SONUÇ

Deniz düzeyi gözlemleri diğer deneysel diziler gibi, trend, boşluk, ani yükselme, gel-git, atmosferik ve deprem etkileri gibi bozucu gürültülere sahiptir. En önemlisi deniz düzeyi gözlemleri çeşitli fiziksel süreçleri ve diğer rasgele süreçleri içerir. EKKSA yöntemi istenmeyen bozukluklara müdahale etmeden analiz işlemini gerçekleştirir. Aslında editleme (müdahale) işlemi, zaman dizilerini analize uygun hale getirebilir. Fakat bu işlem dizideki faydalı bilgilerin silinmesine ve yapay sinyallerin elde edilmesine neden olur.

Bu çalışmada saatlik deniz düzeyi gözlemleri aylık gruplar halinde analizi yapılmış ve üç farklı periyot grubu belirlenmiştir. Bu grupların ortalamaları hesaplandığında sırasıyla 11.998, 12.412 ve 24.923 saat olarak elde edilmiştir. Birinci periyot güneşin deniz düzeyine yarı günlük çekim etkisi, ikincisi ayın yarı günlük çekim etkisi ve

son olarak üçüncüsü de güneşin ve ayın ortak tam günlük çekim etkisi olduğu söylenebilir. Bu değerler ikinci bölümde ifade edilen gelgit bişenleri ile birebir uyum gösterir (Tablo 1). Bunlar sırasıyla S2, M2, K1 bileşenleridir.

KAYNAKLAR

- Abbasi M.** 1999. *Comparison of Fourier, Least Squares and Wavelet Spectral Analysis Methods Test on Persian Gulf Tidal Data*, Master's Thesis, Surveying Engineering Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
- Ainscow B., Blackman D., Kerridge J., Pugh D., ve Shaw S.** 1985. *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation*, Volume I, UNESCO.
- Craymer M. R.** 1998. *The Least Squares Spectrum, Its Inverse Transform and Autocorrelation Function: Theory and Applications in Geodesy*, PhD thesis, Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- Espy P. J. ve Witt G.** 1996. *Observations of a Quasi 16 Day Wave in The Polar Summer Mesospheric Temperature*, Journal of Geophysical Research, Vol:102, pp:1-32
- Gürdal M. A.** 2002. *Deniz Seviyesi Değişimlerine Neden Olan Etkiler*, Harita Dergisi, Sayı: 127, sayfa : 19-33.
- H. G. K.** 1991. *Erdek, Menteş, İzmir, Bodrum, Antalya Mareograf İstasyonları 1990 Yılı Saatlik Deniz Seviyesi Değerleri*, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Hekimoğlu Ş., Ayhan M. E., Demir C., Şanlı D. U. ve Kahveci M.** 1996. *Türkiye Düşey Datum Belirleme Projesi, Bitirme Raporu*, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Mantegazza L.** 1997. *High Azimuthal Number Pulsation Modes in Fast Rotating δ Scuti Stars: The Case of HD 101158=V837 Cen*, Astronomy and Astrophysics, Vol:23 pp:844-852
- Omerbashich M.** 2003. *Earth-Model Discrimination Method*, PhD Thesis, Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.
- Pagiatakis S. D.** 1999. *Stochastic Significance of Peaks in The Least-Squares Spectrum*, Journal of Geodesy, Vol:73, pp: 67-78
- Pagiatakis S. D.** 2000. *Application of the Least-Squares Spectral Analysis to Superconducting Gravimeter Data Treatment and Analysis*. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie (ECGS). **17**; 103-113.
- Sanli D. U. ve Blewitt G.** 2000. *Geocentric Sea Level Trend Using GPS and 100-Year Tide Gauge Record on a Postglacial Rebound Nodal Line*, Journal of Geophysical Research, Vol:106, pp:713-719.
- Taylor J. ve Hamilton S.** 1972. *Some Tests of The Vaniček Method of Spectral Analysis*, Astrophysics and Space Science, Volume: 17, pp: 357-367.
- Vaniček P.** 1969a. *Approximate Spectral Analysis by Least Squares*, Astrophysics Space Science, Volume: 4, pp: 387-391.
- Vaniček P.** 1969b. *New analysis of the earth pole wobble*. Studia Geophysica et Geodaetica, Volume: 13, pp: 225-230.
- Vaniček P.** 1971. *Further Development and Properties of the Spectral Analysis by Least Squares*, Astrophysics Space Science, Vol: 12, pp:10-33.
- Vaniček P. ve Krakiwsky E. J.** 1986. *Geodesy Concepts: Part 1*, Elsevier Book Company, 2nd Edition, 748 p., Amsterdam
- Wells D. E., Vaniček P. ve Pagiatakis S. D.** 1985. *Least Squares Spectral Analysis revisited*, Technical Report 84, Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.