

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Deniz Düzeyi Gözlemlerinin En Küçük Kareler
Yöntemiyle Spektral Analizi

R. Alpay ABBAK

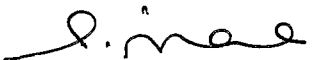
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 28/07/2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet YERCI

Danışman


Prof. Dr. Cevat İNAL

Üye


Yrd. Doç. Dr. Bayram TURGUT

Üye

ABSTRACT
MSc THESIS

Spectral Analysis of Sea Level Observations by Least Squares Method

R. Alpay ABBAK

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YERCI

2005, 70 pages

Jury: Prof.Dr.Cevat İNAL

Jury: Assist.Prof.Dr. Bayram TURGUT

In this study, hourly sea level observations are analysed using Least-Squares Spectral Analysis (LSSA) technique. The sea level observations are samples of time series in geodesy. These observations, similar to other experimental time series, have short gaps, linear 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 they are unexist, 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 occurs. This means that unwanted results occur during analysing process. There is a method, called LSSA, which can take over these problems. Because LSSA technique is very reasonable to numerical analyse, it can be applied easily in solving these problems and analysing unequally weighted data.

In this study, some periodical behaviors of sea level were determined by using hourly sea level observations that include difficulties mentioned before. In this purpose, sea level observations of Antalya and Menteş Tide Guage are analysed using this method. Consequently, it is determined that there are three hidden periodicity by analysing of sea level observations consist of these effects.

Keywords: Least-Squares Method, Spectral Analysis, Period, Signal

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz Düzeyi Gözlemlerinin En Küçük Kareler Yöntemiyle Spektral Analizi

R. Alpay ABBAK

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet YERCİ

2005, 70 sayfa

Jüri: Prof. Dr. Cevat İNAL

Jüri: Yrd. Doç. Dr. Bayram TURGUT

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, doğrusal trend, datum kayıklıkları bulundurur. Bu etmenler çoğu zaman analiz için zorlaştırıcı etki yapar. Geleneksel yöntemlerde (Hızlı Fourier Dönüşümü gibi) doğrusal trend ve datum kayıklıkları gibi bazı etmenler yok sayılırken, kısa boşluklar ve eşit olmayan veri aralıkları gibi etmenler de enterpolasyon teknikleri (harmonik veya doğrusal) kullanılarak boşluklar doldurulur. Bu durum, hem dizilerin içindeki gerekli bilgilerin yok sayılmasına hem de yapay sinyallerin elde edilmesine neden olabilir. Bu da analiz işlemi için istenmeyen sonuçlar doğması anlamına gelir. İşte sözü edilen türdeki zorlukların üstesinden gelebilecek başka bir yöntem vardır ki; o da EKKSA'dır. EKKSA yöntemi sayısal analize uygun olduğundan bu tür problemlerin çözümünde ve farklı ağırlıktaki verilerin analizinde kolayca uygulanabilir.

Saatlik deniz düzeyi gözlemlerindeki gizli periyodikliklerin belirlenmesi ve bu periyodikliğe neden olan fiziksel olayların araştırılması çalışmanın temel konusunu oluşturmaktadır. Bu amaçla Antalya ve Menteş mareograf istasyonuna ait saatlik gözlemler bu yöntemle analiz edilmiştir. Verileri ön-işlemeye (pre-process) gerek duymadan, dizilerin analizi sonucunda 3 değişik periyodiklik belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: En Küçük Kareler Yöntemi, Spektral Analiz, Peryot, Sinyal

TEŞEKKÜR

Sayın Danıőmanım Prof. Dr. Mehmet YERCİ'ye rehberliği ve desteği için minnettar olduğumu ifade etmek isterim. Yrd. Doç. Dr. Aydın ÜSTÜN hocama tezin her adımında beni yönlendirdiği ve cesaretlendirdiği için teşekkür ederim. Problemlerin Fortran dilinde programlanması aşamasında bilgisini benimle paylaőan Yrd. Doç. Dr. İ. Öztuğ BİLDİRİCİ'ye ve fonksiyonel analiz konusunun teorik kısmında yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Aynur KESKİN'e sevgilerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmalarım sırasında maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarım Dr. İbrahim KALAYCI, Cemal Özer YİğİT ve Hüseyin Zahit SELVİ'ye sonsuz őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
Özet	i
Abstract	ii
Teşekkür	iii
İçindekiler	iv
Şekil Listesi	vi
Çizelge Listesi	vii
Kısaltma Listesi	viii
Simge Listesi	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Zaman Dizileri Analizinin Tarihi	4
2 TEMEL KAVRAMLAR	6
2.1 Süreçlerin Tanımı ve Çeşitleri	6
2.1.1 Deterministik ve rasgele Süreçler	6
2.1.2 Durağanlık ve ergodiklik	7
2.2 Sinyaller ve Sistemler	8
2.3 Zaman Dizileri	9
2.3.1 Zaman dizilerinin analizi	11
2.3.2 Zaman dizilerinin özellikleri	11
3 ZAMAN DİZİLERİNİN FOURIER TEKNİĞİ İLE ANALİZİ	13
3.1 Peryodik Sinyaller ve Fourier Serileri	14
3.2 Fourier Dönüşümü	19
3.2.1 Sürekli Fourier dönüşümü (SFD)	20
3.2.2 Fourier dönüşümünün özellikleri	21

3.2.3	Ayrık Fourier dönüşümü (AFD)	22
3.2.4	Hızlı Fourier dönüşümü (HFD)	24
3.3	Nicelik Yönünden Fourier ve Spektral Analiz	29
4	ZAMAN DİZİSİ OLARAK DENİZ DÜZEYİ GÖZLEMLERİ	30
4.1	Tanımlar	31
4.2	Deniz Düzeyi Değişiminin Nedenleri	32
4.2.1	Gel-git	32
4.2.2	Meteorolojik etkiler	33
4.2.3	Diğer bozucu etkiler	34
4.3	Deniz Düzeyi Ölçme Yöntemleri	35
4.3.1	Mareograf istasyonu	35
4.3.2	Uydu altimetresi	37
5	EN KÜÇÜK KARELERLE SPEKTRAL ANALİZ	40
5.1	EKKSA'nın Nicelik Yönünden Tanımı	41
5.2	EKKSA'nın Matematiksel Teorisi	42
5.2.1	Fonksiyonel analiz	45
5.2.2	İzdüşüm teoremi	47
5.3	Bilinen Parametrelerle EKKSA	52
5.4	EKKSA da Kullanılan Bilinen Bileşenlerin Tipi	53
6	SAYISAL UYGULAMA	54
6.1	Uygulama	54
6.2	Saatlik Değerlerle Edinilen Sonuçların Testi	59
6.3	Gözlemlerin Seyreltilmesi	60
7	SONUÇ ve ÖNERİLER	66
7.1	Sonuçlar	66
7.2	Öneriler	67
	Kaynaklar	67
	Özgeçmiş	71

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
2.1 Basit bir iletim sistemi	9
3.1 Bir şirketin yıllık satış grafiği	14
3.2 Peryodik fonksiyonlar	15
3.3 Kare dalgaya Fourier serileriyle yaklaşım	17
3.4 4 Hz'lik sinyalin 1 Hz'lik örnekleme aralığında sayısallaştırılması .	23
3.5 Ayırık Fourier dönüşümünün örnekleme	24
3.6 İşlem sayısı bakımından AFD ve HFD arasındaki ilişki	25
3.7 $N=8$ için Sande-Tukey Algoritmasının Akış Diagramı	28
3.8 $N=8$ için Cooley-Tukey Algoritmasının Akış Diagramı	28
4.1 Deniz düzeyine merkezkaç ve ayın etkisi	34
4.2 Analog sistemin basit yapısı	36
5.1 θ açısının grafik gösterimi	46
5.2 f vektörünün g vektörüne dik izdüşümü	47
5.3 g vektörünün f vektörüne dik izdüşümü	47
5.4 İzdüşüm teoremi	48
5.5 Spektral analizde ikinci izdüşüm	50
6.1 Antalya Mareograf istasyonu 1990 yılı ocak ayı saatlik gözlemleri .	56
6.2 Antalya Mareograf istasyonu 1990 yılı nisan ayı saatlik gözlemleri	57

ÇİZELGE LİSTESİ

3.1	Zaman alanından frekansa geçişte Fourier dönüşümü özellikleri . . .	22
4.1	Gel-gitin temel bileşenleri	33
6.1	Antalya istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa) . . .	58
6.2	Menteş istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa) . . .	59
6.3	Antalya istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen değerlerin testi . . .	59
6.4	Menteş istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen değerlerin testi . . .	60
6.5	Antalya ist. 2 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	61
6.6	Antalya ist. 3 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	61
6.7	Antalya ist. 4 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	62
6.8	Menteş ist. 2 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	62
6.9	Menteş ist. 3 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	63
6.10	Menteş ist. 4 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)	63
6.11	Antalya ist. 2 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	63
6.12	Antalya ist. 3 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	64
6.13	Antalya ist. 4 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	64
6.14	Menteş ist. 2 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	64
6.15	Menteş ist. 3 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	64
6.16	Menteş ist. 4 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi . . .	65

KISALTMA LİSTESİ

ist	... istasyon
m	... metre
ppm	... milyonda bir
sa	... saat
sn	... saniye
AFD	... ayrık Fourier dönüşümü
EKK	... en küçük kareler
EKKSA	... en küçük karelerle spektral analiz
GPS	... küresel konum belirleme sistemi
HFD	... hızlı Fourier dönüşümü
HGK	... Harita Genel Komutanlığı
SFD	... sürekli Fourier dönüşümü



SİMGE LİSTESİ

Latin Alfabeti

a_k	... Fourier kosinüs katsayısı
b_k	... Fourier sinüs katsayısı
\hat{c}	... en küçük karelerle minimize edilmiş vektör
dt	... zaman artışı
e	... doğal sayı
f	... frekans
\mathbf{f}	... gözlem vektörü, ayrıca zaman dizisi
i, j	... indisler
n	... veri sayısı
$\hat{\mathbf{p}}$... \mathbf{f} 'e en iyi uyan vektör
s	... spektrum (spektra) değeri
$s(\omega_j)$... ω_j frekansının spekturumu
t	... zaman
u	... bilinmeyen sayısı
$\hat{\mathbf{v}}$... hata vektörü
\mathbf{C}_f	... kovaryans matrisi
GS	... güven seviyesi
\Re	... reel sayılar kümesi
S	... düzlem
SY	... spektral yoğunluk
T	... periyot
W	... ağırlık fonksiyonu

Yunan Alfabeti

α	... yeterlik seviyesi
ϕ	... bilinen bileşen
μ	... ortalama değer
θ	... açıklık açısı
σ	... standart sapma
ω	... açısal frekans
Δt	... iki veri arasındaki zaman farkı
Φ	... dizideki toplam bilinen bileşen sayısı

1. GİRİŞ

Jeodezi, zamanın bir fonksiyonu olarak yeryuvarının şeklinin ve yerçekimi (gravite) alanının belirlenmesi ile uğraşan bir bilim dalıdır. Şekil ve çekim alanı problemini çözmek için, bazı jeodezik gözlemlere gereksinim duyulur. Yatay açı ve doğrultu, uzunluk, yükseklik farkı, gravite (ağırlık ivmesi) ve günümüzde sıkça kullanılan uydu teknikleri bunlardan bazılarıdır.

Yukarıdaki tanımdan ve verilen örneklerden anlaşıldığı üzere bazı jeodezik gözlemler herhangi bir değişkenden bağımsız olabileceği gibi, bir ya da birden fazla değişkene (örneğin zaman ve/veya konum) bağımlı olabilir. Gözlemlere ilişkin bu ayrım, “rasgele değişkenler” ve “rasgele fonksiyonlar (süreçler)” biçiminde yapılabilir. Rasgele değişkenler, olasılık hesabında olduğu gibi aynı koşullar altında bir deneyin sonucu olarak ortaya çıkan büyüklüklerdir. Belirli bir gözlemin sonuçları yardımıyla tanımlanan bu gözlemin bir çok kez tekrarlanması sırasında farklı değerler alabilen fonksiyonlara ise rasgele fonksiyon, yahut rasgele süreç, veyahut rasgele sinyal denir. Rasgele fonksiyon kavramı, hem rasgele süreçleri (real time: sürekli gözlem) hem de rasgele dizileri (kesikli zaman dizilerini) içerir (Hekimoğlu, 1981).

Bağımsız bir değişkene bağımlı olsun ya da olmasın, jeodezide gözlemlere istatistik kurallar yardımıyla yorum getirilir. Rasgele gerçekleşen deneyin sonucu olan gözlemler, bilinmeyen parametrelerin bir fonksiyonu olarak elde edilir. Gözlemler yardımıyla bilinmeyen parametrelerin istatistiksel anlamda (kesinlikte) kestirilmesi, gözlemlerle ilişkili doğa olaylarının yorumlanmasına kolaylık sağlar. Parametre kestiriminde, gözlenen büyüklükler ve bilinmeyenler arasındaki fonksiyonel ilişkiden yararlanır ki burada fonksiyonel ilişki gözlenen gerçek doğanın matematiksel olarak ifadesidir.

Jeodezik gözlemlerin hemen hepsi doğada var olan fiziksel kuvvetlerin ve geometrik esasların izlerini taşır. Bir nivonun ya da teodolitin düzecine olan etkisi

nedeniyle temel kuvvetlerin başında sayılan çekim kuvveti, buna en basit örnektir. Öte yandan, aynı kuvvetin etkileri, bir mareograf istasyonunda gerçekleştirilen deniz düzeyi gözlemleri sonuçlarında da görülebilir. Üstelik bu etki, deniz düzeyi gözlemlerine zamanın bir fonksiyonu olarak yansır. Jeodezik analiz, işte bu ve buna benzer çok sayıda örnekle çoğaltılabilen, rasgele değişken veya rasgele süreçlerdeki bilinmeyen parametrelerin belirlenmesini ele alır.

Herhangi bir bağımsız değişkene (zaman ya da konum) bağlı olarak gerçekleşen ve zaman dizileri olarak adlandırdığımız ardışık (tekrarlı) gözlemlerin analizi bu tezin konusunu oluşturmaktadır. Konu istatistiğin önemli bir alanı olduğundan ekonomi, mühendislik, satış ve pazarlama, endüstri gibi birbirinden çok farklı bilim dallarında uygulama bulmaktadır. Ancak bütün bu uygulamalar için zaman dizilerinin analizini gerekli kılan asıl neden, süreklilik arzeden olayları gözlemleyerek onların doğasını anlamaya çalışmak ve elde edilen sonuçlardan yola çıkarak geleceğe ilişkin kestirimde bulunmak şeklinde özetlenebilir.

Chatfield (1989), zaman dizilerinin rasgele gözlemlerden olan farklılığını gözlemlerin birbiriyle korelasyonlu olmasına ve analiz edilirken, zaman sırasının göz önünde bulundurulması kuralına göre ayırt etmiştir. Daha pek çok özellikleri, zaman dizilerinin analizinde değişik yaklaşımlar kullanılmasını gerektirmektedir. Burada en çok değinilmesi gerekenlerden biri, zaman dizilerinin deterministik ve/veya stokastik olarak incelenebileceğidir. Deterministik analizle, fiziksel olaylar modellenerek geleceğe ilişkin yorum yapılabilir. Stokastik analizle ise stokastik sürecin istatistiksel özellikleri ya da davranış biçimi hakkında fikir yürütülebilir. Öte yandan, bir zaman dizisi gözlem süresinin tamamı üzerinden analiz edilebileceği gibi, farklı frekanslarda değişik davranışların gözlemlendiği, spektral özelliklerinin ortaya çıkarılmasına yönelik frekans alanında da analiz edilebilir. Geleneksel yöntemlerle analiz ise, daha çok bir zaman dizisindeki değişimin yani trendin, periyodik etkilerin ve geriye kalan düzensiz dalgalanmaların ayrıştırılması ile ilgilidir.

Gözlenmiş zaman dizileri, sinyal (signal) ve gürültü (noise) olarak adlandırdığımız iki bileşenden oluşur. Bozucu etki yapan gürültü bileşeni ise düzenli (sistematik)

ve düzenli olmayan olmak üzere iki çeşittir. Sistematik gürültünün genel formu bilinir ama büyüklüğü her zaman dizisi için ayrı ayrı hesaplanarak belirlenir. Örneğin zaman dizisinde datum kayıklığının varlığı zaman dizisinin çizilmesiyle farkedilebilir. Buna karşın kayıklık miktarı ise analiz işlemiyle ortaya çıkar. Düzenli olmayan (rasgele) gürültü ise hesapla belirlenemez, ortalama ve varyans değeri sifıra eşittir. Bu nedenle rasgele gürültü zaman dizisinin bütününde diziyeye ait momentleri (ortalama değer ve varyans) etkilemez. Analistler bahsedilen gürültü bileşenlerini belirler ve sinyal adı verilen kısmını ortaya çıkarmaya çalışır. Bir zaman dizisinden sinyali çıkarma işlemi gizli periyodiklik problemi olarak adlandırılır. İşte bir zaman dizisindeki gizli periyodiklikleri belirleme işine spektral analiz adı verilmektedir.

Deniz düzeyinin zaman dizisi olarak gözlendiği durumlarda, çoğunlukla dizinin deterministik kısmının modellenmesiyle ilgilenilir. Deterministik kısım genelde uzun bir zaman periyodunda deniz düzeyinin değişiminin izlenmesinden ve elde edilen verilerden geleceğe ilişkin kestirimlerin yapılmasından oluşur. Analiz için kullanılan yöntemler geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu yelpaze ortalama değerlerin bulunmasına dayanan basit modellerden değişik frekanslardaki sinyallerin kestirildiği karmaşık yöntemlere kadar uzanır. Fourier, spektral, dalgacık (wavelet) veya öteki sayısal filtreler (alçak geçiş, hareketli ortalama ve Kalman filtreleri) bunlardan bazılarıdır.

Deniz düzeyi verileri gibi içerisinde deterministik (sinyal) ve bozucu gürültü (noise) bileşenler bulunduran gözlemler için kullanılacak analiz tekniğinin seçimi önemlidir. Gerçekte her analiz yöntemi bazı kısıtlamalar içerir. Örneğin verilerin sayısının ikinin kuvveti ya da veriler arasında eşit zaman aralıklarının olması veyahutta verilerde ara boşluklar görülmemesi gibi. Öte yandan bu tür eksikliklerin enterpolasyon ve başka yollarla tamamlanması ise verilerdeki doğallığın kaybolması gibi yeni sorunları beraberinde getirir. Ayrıca geleneksel Fourier ve dalgacık yöntemlerinde, verilerin durağan olduğu ve ağırlıklarının eşit olduğu varsayılır. Bütün bunlar göz önünde tutulduğunda olası sorunlara karşı dirençli sayısal araçlara gereksinim duyulur. Deniz düzeyi gözlemlerinin analizinde karşılaşılan benzeri güçlükler için Vaníček (1969a, 1971) tarafından

70'li yılların başında geliştirilen En Küçük Karelerle Spektral Analiz (EKKSA) yöntemi bunlardan biridir.

Bu çalışmada ülkemizde işletilen bazı mareograf istasyonlarına ilişkin saatlik deniz düzeyi gözlemlerinin EKKSA yöntemi ile analizi üzerinde durulacaktır. Bu amaçla saatlik deniz düzeyi verileri EKKSA ile analiz edilecektir. Uygulamada kullanılacak veriler Harita Genel Komutanlığı'nca işletilen Antalya ve Menteş mareograf istasyonu verilerini kapsamaktadır. Söz konusu veriler 1990 yılına ait saatlik değerlerden oluşmaktadır. Deniz düzeyi verilerinin eski yöntem olarak bilinen analog sistemler yardımıyla toplandığı, özellikle alet ve okuma hatasını fazlasıyla içerdiği bilinmektedir. Bu durum EKKSA'nın başarısının iredelenmesi açısından önemlidir.

Zaman dizilerinin analizi söz konusu EKKSA tekniği birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmalara ağırlıklı olarak yerbilimlerinden örnekler verilebilir. Jeofizik alanında EKKSA gravite değerleri yardımıyla yeryuvarının salınım kipinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Omerbashich, 2003). Öteki jeodezik uygulamalara örnekler, Maul ve Yanaway (1978) ve Delikaraoglou (1984) ile verilebilir. Ayrıca matematik, mikrobiyoloji, ilaç ve finans gibi çok değişik alanlarda da yapılmış sayısız çalışmayla karşılaşılabilir.

Bu çalışmada deniz düzeyi verilerini analiz ederek verilerdeki gizli periyodiklikleri belirlemek, bu periyodikliklere neden olan doğal ve yapay olayları tespit etmek amaç edinilmiştir. Bu amaçla, çalışmamızda Türkiye'de Harita Genel Komutanlığı tarafından işletilen mareograf istasyonlarına ait saatlik verileri analiz edilecektir. Analiz aşamaları ve izlenen yöntemler sonraki bölümlerde açıklanacak, elde edilen bulgular, sonuç ve öneriler bölümünde detaylıca verilecektir.

1.1 Zaman Dizileri Analizinin Tarihçesi

Bilimsel anlamda zaman dizilerinin analizi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Fiziksel Spektrum analizi, 1664 yılında Isaac Newton tarafından cam prizma kullanarak ışık sinyali frekans bileşenlere ayrıştırılmıştır. 1800 yılında Herschel,

güneş ışığını birçok farklı bantlara ayırarak Newton'un spektrum aracının yerini alan bir ölçüm yapmıştır.

Matematiksel kuramlar 1800'lü yılların ortalarında Jean Baptiste Joseph Fourier tarafından adını da alan Fourier serileri aracılığıyla ortaya atılmıştır. Daha sonra Rayleigh, Fourier'in kullandığı serileri integral eşitliklerine dönüştürmüştür. Bu sırada Stokes nümerik Fourier analizini geliştirmiştir. 1898 yılında Michelson ve Strotton yaylı harmonik analizcisi yapmış ve bunu bir fonksiyonun Fourier Transformasyonunu (dönüşümünü) bulmak için kullanmıştır. Onun Fourier dönüşümü sinyalin güç spektrumunu hesaplamaya yöneliktir. 1894-1898 yıllarında Schuster zaman dizileri hakkında birçok çalışmalar ve kuramlar ortaya koydu ve zaman dizilerindeki gizli periyodikliklerin araştırılması üzerine çalıştı.

Devam eden yıllarda birçok araştırmacı periodgramlar hesapladı ve bunların eşitliklerini belirlediler. 1930'lı yılların başlamasıyla Wiener, Cramer, Kolmogorov, Barlett ve Tukey zaman dizilerinin analizi konusunda önemli gelişmelere imza atmışlardır. Özellikle Tukey zaman dizilerinin olduğu birçok alanda çalışmıştır. İstatistikî spektrum analizinin gelişmesine ve yaygınlaşmasına katkıda bulunmuştur. Tukey'in spektrum analizi hakkındaki tanımlaması "spektrum analizi girdileri ve çıktılarıyla düşünen kutucuklardır" şeklindedir (Brillinger, 2002).

2. TEMEL KAVRAMLAR

Zaman dizisinin tanımı, özellikleri ve sınıflandırma konusundaki temel bilgiler bu bölümde ele alınacaktır. Ayrıca ileriki konularda bahsedilecek bazı temel kavramlar açıklanacaktır. Özellikle zaman dizilerini oluşturan süreçlerin tanımı ve özellikleri, sinyal ve sistemler gibi temel konulara değinilecektir.

2.1 Süreçlerin Tanımı ve Çeşitleri

Süreç, zaman içerisinde değişim gösteren bir çeşit fiziksel olay olarak düşünülür. Bir süreç belirli zaman boyunca ölçüler yapılarak belirlenir. Bu süreçler çoğunlukla ölçü dizileri olup, bunlar zamana (zaman dizileri) veya konuma bağlı (konumsal süreç) olarak ifade edilir. Zaman dizilerinin sayısal nicelikleri matematiksel olarak analiz edilir ve sürecin fiziksel davranışları gözlenir (Craymer, 1998).

Süreçler çoğunlukla tek boyutlu olarak düşünülür; yani süreç tek boyutlu argümana göre değişim gösterir. Fakat çok boyutlu olması da muhtemeldir. Bu duruma bir örnek (iki ya da üç boyutlu) konum ile verilebilir.

Süreçler için sürekli ya da ayrık olmak üzere iki durum söz konusudur. Gerçekte her süreç sürekli (kesintisiz) değişim içerisinde olmasına karşın, veri edinim sistemlerinin doğası nedeniyle, sürekli süreçler ayrık örneklemeler haline dönüşür. Örneğin deniz düzeyi değişimini eş zamanlı olarak kaydeden analog sistem sürekli olarak ifade edilir. Eğer bu süreç sayısal bilgilere dönüştürülürse ayrık süreç ortaya çıkar. Zaman dizisi kavramı daha çok bu ikincisi ile ilişkilidir.

2.1.1 Deterministik ve Rasgele Süreçler

Süreçler deterministik ve rasgele olmak üzere ikiye ayrılır. Hiç kimse bir süreç ne kadar deterministik ve ne kadar rasgele olduğu hakkında bir fikir yürütemez.

Genel anlamda deterministik kısım tahmin edilebilir, rasgele kısım ise tahmin edilemeyen kısım olarak dikkate alınır. Bu nedenle sürecin deterministik ve rasgele kısımları modellemek isteyeninin tercihinine göre değişir (Craymer, 1998).

Herhangi bir rasgele büyüklük, bir değişkene (örneğin hava koşullarındaki sıcaklık, basınç, nem v.b.) bağlı olarak farklı değerler alabilir. Rasgele büyüklüklerin bağımlı değişkene göre değişimi bir fonksiyonu belirtir. Buna rasgele fonksiyon denir. Bağımsız değişken çoğunlukla zaman olmasına karşın, jeodezide sıkça karşılaşılan bir durum olarak konum da olabilir.

Rasgele fonksiyon deyince belirli bir gözlemin sonuçları yardımıyla tanımlanan ve gözlemin birçok tekrarlanması sırasında farklı değerler alabilen fonksiyonlara rasgele fonksiyon yahut rasgele süreç veyahut rasgele sinyal denir (Hekimoğlu, 1981). Rasgele fonksiyona tipik birkaç örnek verilebilir:

- Radar aletiyle alınmış radyo sinyallarının konuma bağlı değişimi,
- Atmosferin bir noktasındaki sıcaklığın zamana bağlı değişimi,
- İki nokta arasındaki rüzgar hızının uzaklığa bağlı değişimi,

şeklinde diyebiliriz.

2.1.2 Durağanlık ve ergodiklik

Bir rasgele sürecin farklı iki gerçekleşmesi tahmin edilemez. Bir sürecin tek bir gerçekleşmesi örnek kayıt olarak adlandırılır. Tüm bu gerçekleşmelerin bir araya gelmesiyle rasgele süreç veya stokastik süreç meydana gelir. Rasgele süreçte tüm örnekler birbirinden farklı değerler alır.

Rasgele süreç veya stokastik süreç durağan ve durağan olmayan olarak sınıflandırılır. Bir süreç istatistiki özellikleri argümandan bağımsız ise durağandır. Yani, tüm gerçekleşmelerdeki istatistiki momentleri (örn. ortalama değer) tüm değerler için aynı (zaman içerisinde değişmiyor) ise durağandır denir. Buna karşın durağan olmayan süreç bu özelliği sağlayamaz.

Stokastik süreçlerin tam olarak belirlenmesi için çok sayıda küme ortalamaları gerekir. Bu işlem hem karmaşık hem de pahalıdır. Bu nedenle az sayıda gözlem kümesiyle yetinilir. Bunun için rasgele süreç oluşturan kaynağı temsil eden fiziksel mekanizma sağlanabilir ve küme ortalamalarıyla zaman ortalamaları birbirine eşit olursa buna ergodik süreç denir.

Durağan süreçlerde ortalama, bir sinyal değerlerinin aritmetik ortalamasıyla bulunur ve μ ile gösterilir. Ortalamanın hesabı,

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \quad (2.1)$$

formülü yardımıyla yapılır. Bunun yanı sıra analiz için her bir sinyal değerlerinin ortalama değeriyle karşılaştırılması gerekir. Yani $|x_i - \mu|$ ifadesiyle, i . örneğin ortalamadan farkı ifade edilir. Buna terminolojide *ortalama sapma* adı verilmektedir. Bu farkların karelerinin değerleri toplanıp örnek sayısına bölüldüğünde örneklemin *varyansı* bulunur.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2 \quad (2.2)$$

Standart sapma (σ), sinyal salınımlarının ortalamadan ne kadar uzaklaştığının ölçüsüdür. Varyans ise bu salınımların gücünü temsil eder (Smith, 1997).

2.2 Sinyaller ve Sistemler

Sinyal, bir parametrenin diğer parametreyle olan ilişkisinin nasıl olduğunun ifadesidir (Smith, 1997). Daha basitçe tanımı zaman içerisinde değişen ve bir fiziksel olayı tanımlayan kavramdır. Sinyalin çiziminde y eksen (düşey eksen) bağımlı değişkeni, x eksen (yatay eksen) bağımsız değişkeni (zaman veya konumu) ifade eder. Zaman yaygın olarak kullanılan bağımsız değişkendir. Bu çalışmada da bağımsız değişken zaman dolayısıyla zaman dizileri kullanılacaktır. Bu nedenle bir sonraki alt başlıkta zaman dizileri ve analizi konusuna yer verilmiştir.

Benzer çalışmalarda y eksenindeki parametre, x eksenindeki parametrenin bir fonksiyonu olduğu söylenir. Başka deyişle bağımlı değişken ölçüldüğünde, bağımsız değişken örneğinin ne zaman ve nasıl olduğuna dair bilgi verir (Smith, 1997). x ekseninde özel bir değer verildiğinde, buna karşılık gelen y ekseninde bir değer bulunabilir. Bu değerler çoğunlukla belli bir ortalama civarında değerler alır. Eğer bağımlı değişken durağan değilse bu durumda hareketli ortalama söz konusu olur.

Gürültü (noise) ise çoğu kez rasgele sinyal olarak tanımlanır. Zaman içerisinde değiştiğinden sinyale benzerdir fakat faydalı bilgiler içermediğinden istenmeyen sinyal olarak ifade edilir.

Sinyalin yanı sıra sistemlerden de bahsetmek gerekir. Sinyaller, sistemler aracılığıyla işlenir, değerlendirilir ve sonuç olarak ortaya anlamlı bilgiler çıkarılır. Yani sistem, giriş (input) sinyalini bazı işlemlerden geçirerek çıkış (output) sinyali haline getiren bir düzendir denebilir. Basit bir sistem örneği Şekil 2.1 de görülmektedir.



Şekil 2.1: Basit bir iletim sistemi

Sinyaller bileşenlerine ayrılarak yeni bir sinyal haline dönüşür. Birden çok giren ve çıkan sinyal olsa da $x(t)$ ve $y(t)$ nin birer vektör olduğu unutulmamalıdır. Ama kolaylık açısından tek bir sinyali düşünmek daha uygundur (Gasquet ve Witomski, 1998).

2.3 Zaman Dizileri

Zaman dizisi belli zaman aralıklarında fiziksel büyüklüğün (değişken) ardışık değerlerinin kaydedilmesiyle ortaya çıkar. Zaman dizilerinde, bağımsız değişken

olarak çoğunlukla -adından geldiği gibi- zaman olsa da jeodezide sıkça karşılaşılan bir durum olarak konum da olabilir. Veri kayıt aralığı genellikle eşit kabul edilir. Ama uygulamada çoğunlukla eşit olmayan zaman aralıklarıyla elde edilmiş zaman dizileri karşımıza çıkar. Bu durum ise çoğu zaman analiz aşamasında problem oluşturmaktadır.

Zaman dizilerinin dört çeşit fonksiyonel özelliği vardır. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır (Chatfield, 1989):

Tanımlama: Veriler toplandıktan sonra çizime aktarıldığında dizinin dönemlik (periyodik) değişimi ve eğilimi (trendi) hakkında kabaca bir bilgi edilebilir. Bu durumda değişime uygun basit bir model belirlenebilir. Bunların yanısıra çizimde aykırı gözlemleri de görmek mümkündür.

Açıklama: Eğer gözlemler iki veya daha fazla değişkene (zamana ve/veya konuma) bağlıysa her değişken için ayrı bir çizim oluşturulabilir. Böylelikle her değişken için fiziksel olayın durumu belirlenebilir. Dolayısıyla çok değişkenli regresyon konusu, zaman serileri analizinin bu kısmında devreye girer.

Tahmin: Zaman Serilerinden gelecekteki verileri tahmin etmek istenebilir. Bu kullanım şekli çoğunlukla endüstriyel ve ekonomik zaman serilerinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu tür çalışmalar kontrol sistemleriyle sıkı sıkıya ilişkilidir. Eğer gözlenen parametreler ileride problem oluşturacak değerlere ulaşacak olursa önceden önlem alınabilir. Örneğin su taşkınlarına karşı nehir su seviyelerinin izlenmesi gibi.

Kontrol: Endüstride ve ekonomide izlenen politikaların öngörülen hedeflere yaklaşıp yaklaşmadığının belirlenmesi zaman serilerinin analizini gerektirir. Örneğin enflasyon tahmininin ya da bir fabrika için verimlilik hedeflerinin tutturulması gibi. Sonuçlar beklenenin dışında ise izlenen programda değişikliğe gidilebilir.

2.3.1 Zaman dizilerinin analizi

Zaman dizileriyle bütün bilim dallarında karşılaşmak söz konusudur. Bu kullanım genel olarak iki amaçta olmak üzere sınıflandırılabilir. Bunlar:

1. gözlenen fiziksel büyüklüğün zamanla değişimine neden olan etkileri ve yapıları araştırmak,
2. zaman dizilerine bir matematiksel model uydurarak parametrelerini belirlemek ve dolayısıyla geçmiş ve gelecekteki en olası değerleri tahmin etmek,

amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle birbirinden çok farklı disiplinlerin uğraş alanlarında zaman dizileriyle karşılaşılır. Çalışmamızda birinci maddede yer verilen amaca uygun bir çalışma yapılacaktır.

2.3.2 Zaman dizilerinin özellikleri

Zaman dizileri ardışık veri topluluğudur. Genel anlamda zaman dizileri sürekli, ayrık olmak üzere iki sınıfta toplanır. Bir zaman dizisinde gözlemler zamana bağlı olarak sürekli (kesintisiz) bir şekilde gözleniyorsa, süreklilikten sözedilir. Öte yandan gözlemler belirli bir zaman anında (rasgele ya da düzenli aralıklarla) yapılıyorsa, gözlenen veri dizisine ayrık (discrete) seri adı verilir. Sürekli verilere örnek, sismograf aletiyle kaydedilen analog veriler, ayrık verilere ise gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla alınan sıcaklık değerleri verilebilir. Sürekli verileri nümerik analize uygun olmadığından bu serilerin sayısallaştırılması, dolayısıyla ayrık seriler elde edilmesi gerekir. Bu şekilde elde edilen ayrık serilere örnekleyici seri adı verilir. Ama bu şekilde elde edilen ayrık seriler ya da başka bir deyişle örnekleyici fonksiyon sürekli fonksiyona göre ister istemez daha az bilgi içerir.

Öte yandan teknolojik kayıt ortamlarının gelişmesiyle, günümüzde gözlemler çok kısa zaman aralıklarında örneklenebilmektedir. Bu anlamda çoğu dijital veri dakika, saniye veya hatta milisaniye aralıklarla elde edilebilmektedir. Bu tür verilerin analizine geçildiğinde bu kez örneklemin seyreltilmesi gerekebilir. Yalnız, verileri toplarken dikkat edilmesi gereken bir husus, yüksek ve alçak frekanslı

verilerin birbiriyle karıştırılmamasıdır. Alınan sinyali tam olarak tanımlayacak biçimde en uygun örneklem aralığının seçimi Nyquist frekans ile ilişkilidir. Kısaca tanımı yapılırsa; bir periyodik dalgayı ifade edebilen en küçük frekanstır. Nyquist frekans hakkında daha detaylı bilgi (Chatfield, 1989)'den edinilebilir.

Durağanlık (stationarity) zaman dizilerinin diğer bir özelliğidir. Durağanlık zaman dizilerinin zaman içerisinde ortalama değerin ve varyasyonunun değişmemesi demektir. Yani dizi doğrusal bir eğim oluşturmaz. Bir kaynak durağanlığı şöyle tanımlamıştır. "Eğer $X(t)$ rasgele sürecini tanımlayan n boyutlu dağılım fonksiyonu t_1, t_2, \dots, t_n noktalarının zaman ekseninde kaydırılması durumunda değişmezse bu $X(t)$ rasgele süreci kesin anlamda durağandır denir" (Hekimoğlu, 1981). Çoğu analiz tekniğinde zaman dizilerinin durağan olduğu varsayılır. Ama bu tutum doğru değildir. Her dizide çok küçükte olsa bir doğrusal eğim mevcuttur. Bu nedenle analiz yapılmadan evvel bu eğim etkisi kaldırılmalıdır. Trend etkisi kaldırıldıktan sonra dizi yatay bir görünüm kazanır. Böylece geriye kalan salınımlar mevsimsel dalgalanmaları ve rasgele gürültüyü içerir.

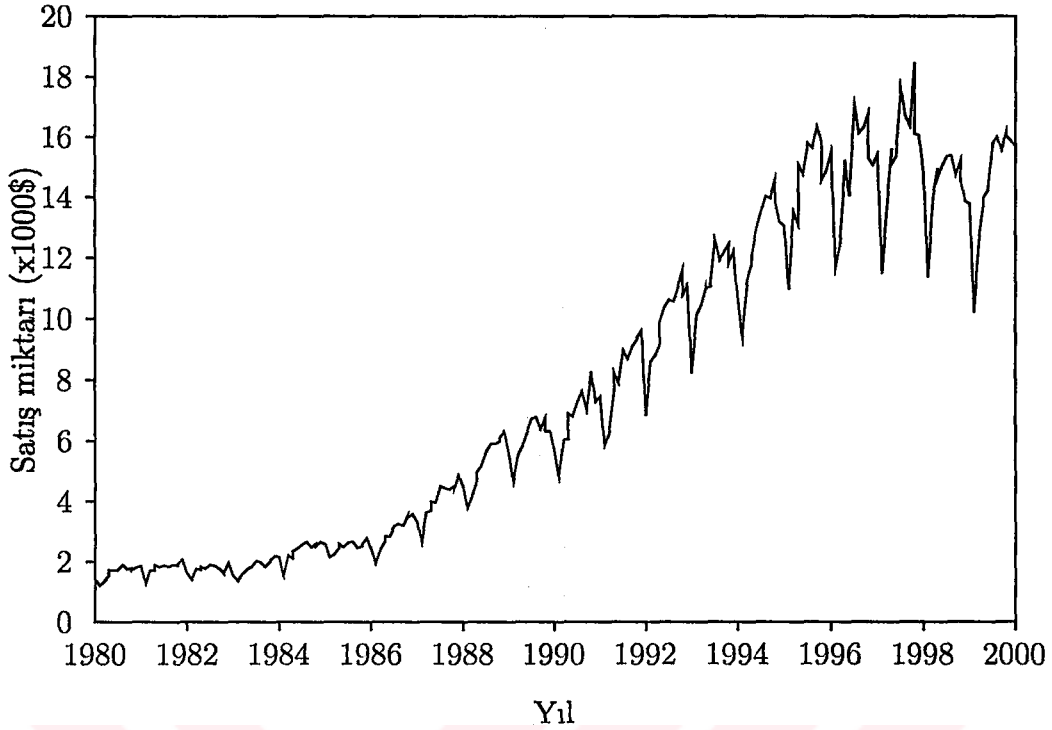
Zaman serilerinin çoğu yukarıda bahsedilen mevsimsellik etkisini içerir. Mevsimsellik, zaman serisinin belli dönemlerde benzer davranışlar göstermesi demektir. Bazı kaynaklarda zaman dizisinin bu bölümüne sinyal (signal) adı verilir. Örneğin deniz düzeyi aşırı buharlaşmayla yazın azalır, kışın da yoğun yağışlar nedeniyle artar. Bu durum sürekli devam edererek mevsimsellik meydana getirir.

3. ZAMAN DİZİLERİNİN FOURIER TEKNİĞİ İLE ANALİZİ

Zaman dizilerinin istatistiksel analizinde, dizinin elemanları rasgele değişkenler kümesinin elemanları olarak görülür. Öteki analiz yöntemlerinde olduğu gibi, gözlem değerlerinin deterministik (tanımlanabilir sistematik büyüklükler) ve stokastik (sistematik olmayan) bileşenlerden meydana geldiği kabul edilir. Çoğu analiz işlemi, stokastik bileşenlerin deterministik bileşenlerden ayrıştırılması (filtreleme) konusunu da kapsar. Ancak filtreleme başlı başına geniş bir konu olduğundan, bu bölümde sadece zaman dizilerinin sistematik unsurlarının kestirilmesi ve zaman-frekans alanındaki özelliklerinin ortaya konulması üzerinde durulacaktır.

Fonksiyonel yaklaşım açısından bir zaman dizisi iki temel parametre kümesi yardımıyla gösterilebilir. Trend ve mevsimsellik (periyodiklik). İçinde doğrusal ya da doğrusal olmayan parametreleri barındıran trend, dizinin zamana bağlı genel eğilimini verir. Dizide periyodik salınımlar şeklinde görülen mevsimsellik etkisi ise trigonometrik sinüs ve kosinüs'lü terimlere karşılık gelen parametre kümesi ile açıklanır. Durumu bir örnekle özetlemek gerekirse, Şekil 3.1 ile gösterilen bir şirketin satış grafiği zamanla (doğrusal olmayan) değişen bir trend ve mevsimsellik dalgalanmaları ifade eden trigonometrik fonksiyonlar yardımıyla açıklanabilir. İşte zaman dizilerinin analiz edilmesinde yatan neden gözlenen dinamik sistemin zaman içindeki davranışına etki eden fiziksel etkenleri analiz etmektir.

Zaman dizisini meydan getiren sinyalin ayrıştırılması, Fourier tekniklerinin çıkış noktasıdır. Trend ise filtrelemede olduğu gibi zaman dizileri üzerinde öndeğerlendirme (pre-process) yapılmasını gerekli kılan nedenlerden biridir. İstatistiksel özellikler (basit anlamda ortalaması) zamanla değişen bir dizide (örneğin Şekil 3.1) Fourier teknikleri kullanılarak spektral büyüklüklerin kestirilmesi güçleşir. Çünkü geleneksel Fourier yaklaşımı zaman dizilerinin durağan (stationary) olması varsayımından hareketle çalışır.



Şekil 3.1: Bir şirketin yıllık satış grafiği

Trend etkisi kaldırıldıktan sonra dizi yatay bir görünüm kazanır. Böylece geriye (varsa) sadece mevsimsel salınımlar ve rasgele gürültü kalır. Zaman dizisinin bu kısmına sinyal adı verilir. Örneğin deniz düzeyi aşırı buharlaşma nedeniyle yazın azalma, kışın da yağışlar nedeniyle yükselme gösterir. Bu durum sürekli olarak devam ettiğinden mevsimsellik ortaya çıkar.

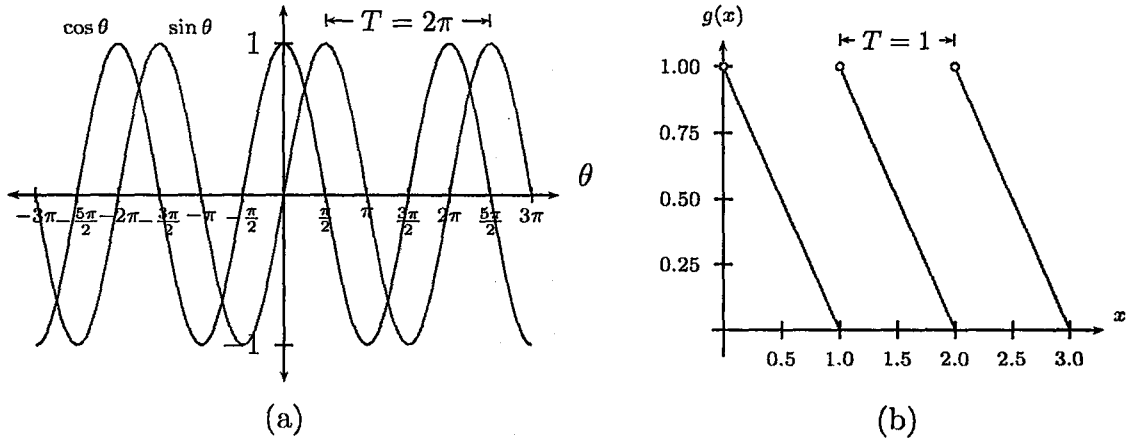
3.1 Peryodik Sinyaller ve Fourier Serileri

Bir $g(t)$ fonksiyonu

$$g(t) = g(t + T) \quad (3.1)$$

eşitliğini sağlıyorsa periyodiktir denir (periyot $=T$). Burada T temel periyot olarak adlandırılır ve sabit bir terimdir. $g(t)$ sonsuz sayıda periyoda sahip olabilir. En basit anlamda trigonometrik $\sin t$ ve $\cos t$ fonksiyonları birer periyodik fonksiyondur. Örneğin sinüs fonksiyonunun periyodu 2π olduğundan, $\sin(\theta + 2\pi)$, $\sin(\theta + 4\pi)$, $\sin(\theta + 6\pi)$, ... aynı $\sin \theta$ değerlerini verir. Benzer

durum kosinüs fonksiyonu için de geçerlidir. Peryodik fonksiyonlara başka bir örnek $g(x) = [x] - x$ ile verilebilir. $[x]$ terimi, x 'e tam eşit ya da bir üst tam sayıya yuvarlayan fonksiyondur. Bu durumda $g(t)$ 'nin periyodu $T = 1$ olur (Şekil 3.1b).



Şekil 3.2: Peryodik fonksiyonlar

Peryodiklik, bir fonksiyonun en küçük aralıkta (yani $[0, T]$ aralığında) tanımlanabilir olmasını sağlar. Peryodik bir fonksiyonu düzgün dairesel hareket yapan bir cismin hareketine benzetebiliriz. Bir T zamanı sonra, fonksiyon kendini tekrar eder. Kısaca bir fonksiyonun aynı değeri aldığı ardışık iki nokta arasındaki yatay eksen boyunca ölçülen büyüklük, T periyoduna karşılık gelir (Şekil 3.1a).

T periyotlu bir fonksiyona sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamı şeklinde sonsuz serilerle yaklaşılabilir:

$$g(t) = a_0 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) \quad (3.2)$$

(3.2) $g(t)$ 'nin Fourier dizileri ile gösterimidir (Jekeli, 1997). a_k ve b_k katsayıları verilen $g(t)$ fonksiyonu ile ilişkili Fourier katsayılarıdır. T periyotlu $g(t)$ fonksiyonunun Fourier dizilerine açılabilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekir:

- Belirtilen tanım aralığında fonksiyon tek değerli olmalı,
- $g(t)$ fonksiyonu Dirichlet koşullarını sağlamalı (yani sonlu sayıdaki düzgün

süreksizlik noktası hariç $[0, T]$ aralığında fonksiyon sürekli ve sonlu sayıda maksimum ve minimum değerlere sahip olmalı),

- $[0, T]$ aralığında fonksiyonun integrali alınabilmelidir: $\int_0^T |g(t)| dt < \infty$

Yukarıdaki koşullar altında Fourier dizileri, fonksiyonun sürekli olduğu yerde $g(t)$ 'ye yakınsar. Süreksizlik noktalarında ise dizi fonksiyonun sağdan ve soldan limitlerinin aritmetik ortalamasına yakınsar (Buttkus, 2000). Bu özellik, Hilbert uzayından $[-\pi, \pi]$ aralığı için sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının tam bir ortogonal sistem oluşturmasından gelir.

$$\int_0^T \cos\left(\frac{2\pi}{T}jt\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) dt = \begin{cases} 0, & j \neq k \text{ ise} \\ T/2, & j = k > 0 \text{ ise} \\ T, & j = k = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.3a)$$

$$\int_0^T \sin\left(\frac{2\pi}{T}jt\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) dt = \begin{cases} 0, & j \neq k \text{ ise} \\ T/2, & j = k > 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (3.3b)$$

$$\int_0^T \cos\left(\frac{2\pi}{T}jt\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) dt = 0 \quad \text{tüm } j, k \text{ için} \quad (3.3c)$$

(3.3) integral eşitliklerinin sağlanması, çeşitli kaynaklarda bulunabilir (örn. (Ersoy, 1997), s.80). Bu özelliklerden yararlanılarak (3.2)'in katsayıları için

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt \quad (3.4a)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) dt \quad (3.4b)$$

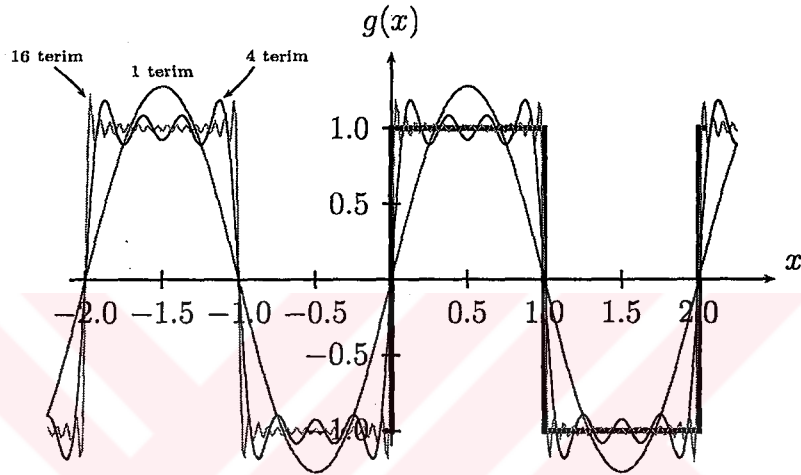
$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) dt \quad (3.4c)$$

bulunur ($k=1,2,3,\dots$). Bu yolla Fourier dizilerinin oluşturulması "Harmonik Analiz" olarak bilinir. Kısaca, harmonik analiz, keyfi bir periyodik fonksiyonun frekans bileşenlere ayrılması işlemidir. Ortaya çıkan çözüm orijinal probleme ilişkin bir yaklaşımdır. Doğruluk, belirlenen Fourier katsayılarının sayısına ya da (3.1)'e göre oluşturulan dizilerdeki terim sayısına bağlıdır. Terim sayısı arttıkça

doğruluk da artar. Fourier dizilerinin yakınsaklığına dair bir fikir kare dalga (square-wave) olarak adlandırılan

$$g(x) = \begin{cases} 1 & 0 < x < 1 \\ -1 & 1 < x < 2 \end{cases} \quad (3.5)$$

fonksiyonunun değişik terim sayısına dayalı Fourier gösteriminden kolayca edinelebilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.3: Kare dalgaya Fourier serileriyle yaklaşım

Fourier dizileri için kompleks değerli fonksiyona dayalı gösterim de kullanılabilir. Buna göre Euler denkleminden ($e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$) yola çıkarak,

$$\cos\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) = \frac{1}{2} \left(e^{-i\frac{2\pi}{T}kt} + e^{i\frac{2\pi}{T}kt} \right) \quad (3.6a)$$

ve

$$\sin\left(\frac{2\pi}{T}kt\right) = \frac{i}{2} \left(e^{-i\frac{2\pi}{T}kt} - e^{i\frac{2\pi}{T}kt} \right) \quad (3.6b)$$

yazılabilir. (3.6)'de yerine konulursa,

$$g(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k - ib_k) e^{i2\pi \frac{k}{T}t} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k + ib_k) e^{-i2\pi \frac{k}{T}t} \quad (3.7)$$

çıkar. Sonuç kompleks katsayılar kullanılarak daha da sadeleştirilebilir:

$$g(t) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} G_k e^{i\frac{2\pi}{T}kt} \quad (3.8)$$

G_k kompleks Fourier katsayıları, başka bir deyişle $g(t)$ fonksiyonunun Fourier spektrumu olarak bilinir. Reel (gerçek) Fourier katsayıları a_k ve b_k ile aralarında,

$$G_k = \frac{1}{2} \begin{cases} (a_k - ib_k) & k > 0; \\ a_0 & k = 0; \\ (a_{-k} + ib_{-k}) & k < 0 \end{cases} \quad (3.9)$$

ilişkisi vardır.

(3.8) periyodik bir $g(t)$ fonksiyonunun kompleks Fourier dizileriyle gösterimidir. (3.1)'den farklı olarak negatif indis içerir. (3.12)'deki negatif indisli terimler (3.7)'in ikinci terimine, pozitif indisler ise birinci terimine karşılık gelir. Sinyal, spektrumunun hesap ve gösterimine daha elverişlidir.

(3.3) eşitliklerine benzer şekilde kompleks üstelin ortagonallik ilişkilerinden (Jekeli (1997), s.14) yararlanılarak verilen bir $g(t)$ fonksiyonunun spektrumu hesaplanabilir. Daha kolay başka bir yol ise (3.6) integral eşitliklerinin (3.9)'da yerlerine konulmasıdır. Sonuç olarak, periyodik $g(t)$ fonksiyonu spektral bileşenlerine

$$G_k = \frac{1}{2} \int_0^T g(t) e^{-i\frac{2\pi}{T}kt} dt \quad k = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (3.10)$$

eşitliği kullanılarak ayrıştırılır. (3.8) ve (3.9) periyodik fonksiyonlar için Fourier dönüşüm çiftini oluşturur.

Yukarıdaki Fourier dizilerinde geçen k/t büyüklüklerine sinyalin harmonik frekansları (ya da kısaca frekans) denir. Frekans $f = 1/T$ yatay eksenin bir birimlik boyutunda sinyalin kendini kaç kez tekrarladığını gösterir. periyot (T) zaman cinsinden verilmişse, birimi devir/saniye (Hertz=Hz) dir. Öte yandan periyodik hareketin temel özellikleri konuşulurken açısal frekans ω sıkça kullanılan bir kavramdır. Tıpkı f de olduğu gibi ω 'da sinyalin tekrarlanma süresi T 'yi belirler.

ω ve T 'nin çarpımı, bir tam sinyal dalgasına karşılık gelen birim yarıçaplı çemberin çevresini verir: $\omega T = 2\pi$. Birimi rad/sn'dir. Dolayısıyla periyot, frekans ve açısal frekans arasındaki ilişki,

$$\omega T = 2\pi \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (3.11)$$

ile açıklanır. (3.1), (3.8) ve (3.9) eşitliklerini açısal frekansa göre yeniden düzenlenirse,

$$g(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \omega kt + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin \omega kt \quad (3.12)$$

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} G_k e^{i\omega kt} \quad (3.13)$$

$$G_k = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) e^{-i\omega kt} dt \quad (3.14)$$

bulunur.

3.2 Fourier Dönüşümü

Fourier serileri periyodik fonksiyonların spektrumunu araştırmak için kullanışlı araç olmasına karşın, kendini düzenli olarak tekrar etmeyen fonksiyonlarda kullanılamaz. Fourier serilerine alternatif olacak ve periyodik olmayan fonksiyonların analizini yapabilecek bir yöntem vardır o da Fourier dönüşümüdür.

Fourier integrali, bu dönüşüm için kullanılabilir. Bu işlem, Fourier serilerinin üstel fonksiyonundan türetilmesiyle sağlanır.

$$f(t) = \int_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{ik\omega t} \quad (3.15)$$

Buradaki c_k ,

$$c_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-ik\omega t} dt \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilir. Bu geçiş, periyodiktan periyodik olmayana, periyodun sonsuza yaklaşması anlamına gelir. Yani, fonksiyon tekrar etmez ve böylece periyodiklik

söz konusu değildir.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(i\omega_0) e^{i\omega_0 t} d\omega_0 \quad (3.17)$$

ve

$$F(i\omega_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega_0 t} dt \quad (3.18)$$

eşitliklerinin her ikisine birden Fourier dönüşüm çifti, $F(i\omega_0)$ ifadesi Fourier integrali olarak adlandırılır. Sonuçta Fourier serisi ile Fourier dönüşümü arasında birçok fark olduğu göze çarpar. Fourier serileri periyodik, Fourier dönüşümü ise periyodik olmayan fonksiyonların analizinde kullanılır. Ayrıca her iki yaklaşım zaman ve frekans alanında farklılıklar gösterir.

Fourier serileri: Sürekli periyodik zaman alanı fonksiyonunu frekans alanı “büyüklüklerine” dönüştürür.

Fourier dönüşümü: Sürekli periyodik olmayan zaman alanı fonksiyonunu frekans alanı “fonksiyonuna” dönüştürür.

Böylece Fourier serilerinin oluşturduğu ayrık frekans spektrumu Fourier dönüşümünün oluşturduğu sürekli frekans spektrumuna benzerdir.

3.2.1 Sürekli Fourier dönüşümü (SFD)

Peryodik fonksiyonların Fourier dizileriyle gösterimi periyodun sonlu büyüklük ($T < \infty$) olmasına bağlıdır. Bu özellik periyodik fonksiyonun spektrumunu gösteren katsayıların frekans alanında ayrık değerler olarak elde edilmesine neden olur. Ardışık spektrum değerlerine karşılık gelen çizgiler arasındaki aykırılık $2\pi/T$ kadardır. T değeri büyüdükçe spektrum çizgilerinin aralığı küçülür. $T \rightarrow \infty$ olduğunda G_k sürekli bir eğriye (fonksiyona) dönüşür. İşte bu sayede periyodik olmayan fonksiyonların da Fourier dönüşümü olanaklı duruma gelir.

$g(t)$ fonksiyonu $-\infty < t < \infty$ aralığında mutlak anlamda integrallenebilir bir fonksiyon ($\int_{-\infty}^{\infty} |g(t)| dt < \infty$) ve bölüm 3.1’de açıklanan Dirichlet koşullarını

sağlıyorsa $g(t)$ 'ye Fourier integrali $G(f)$

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f)e^{i2\pi ft} df \quad (3.19)$$

ile yaklaşılabılır. Burada $G(f)$ sürekli Fourier dönüşümü olarak da bilinir ve

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (3.20)$$

ile gösterilir. (3.19) ve (3.20) dönüşüm çifti (3.13) ve (3.14) ile karşılaştırıldığında T 'nin sonsuza götürülmesi nedeniyle toplamının integrale dönüştüğü dolayısıyla G_k ayrık değerlerinin yerini frekansa bağımlı $G(f)$ spektrum fonksiyonun aldığı görülür. (3.11) den,

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow d\omega = 2\pi df \quad (3.21)$$

yazılarak spektrum ve ters dönüşüm denklemi açısal frekansa bağlı olarak da elde edilebilir.

(3.20) verilen integral zamana bağlı $g(t)$ fonksiyonunu sürekli $G(f)$ fonksiyonuna dönüştüren doğrusal operatör vazifesini görür. (3.19) ise orijinal fonksiyonun spektrum alanından tekrar geri kazanılmasını açıklar. Bu nedenle (3.19) sentez, (3.20) analiz denklemi olarak spektral analizin temelini oluşturur.

3.2.2 Fourier dönüşümünün özellikleri

Fourier dönüşümünün asıl gücü fiziksel sistemlerin doğasını anlamamıza sağlayan dönüşüm işleminin özelliklerini tanımlayan teoremlerden gelir. Bu teoremlerin çıkış noktası, bir zaman sinyali üzerinde değişiklik yapıldığında bunun Fourier spektrumuna etkisi ne olur düşüncesidir. Buradan hareketle Fourier dönüşüm çifti (3.19) ve (3.20) sahip olduğu bazı özellikler sayesinde ele alınan fiziksel sistemlerin yorumu ve bu sistemlere ilişkin matematiksel ilişkilerin uygulaması kolaylaşır. Çizelge 3.1'de önemli bazı Fourier dönüşüm teoremlerinin listesi verilmiştir. Burada $g(t)$ ve $h(t)$ sırasıyla zaman sinyalleri, $G(f)$ ve $H(f)$ bunlara karşılık gelen Fourier dönüşümleridir. Aşağıdaki dönüşüm özellikleri kullanılarak

daha karmaşık yapıdaki problemlerin çözümü kolayca gerçekleştirilebilir.

Çizelge 3.1: Zaman alanından frekansa geçişte Fourier dönüşümü özellikleri

Teorem	Sinyal (Zaman alanı)	Dönüşüm (Frekans alanı)
Doğrusallık	$a.g(t) + b.h(t)$	$a.G(f) + b.H(f)$
Zaman alanında öteleme	$g(t - t_0)$	$e^{-i2\pi t_0 f}$
Frekans alanında öteleme	$e^{if_0 t} g(t)$	$G(f - f_0)$
Ölçekleme	$g(at)$	$ a ^{-1} G(f/a)$
Çarpım	$g(t)h(t)$	$G(f) * H(f)$
Diferansiyel	$\frac{d^n g(t)}{dt^n}$	$(i2\pi f)^n G(f)$
İntegral	$\int g(t) dt$	$\frac{1}{i2\pi f} G(f)$
Girişim	$g(t) * h(t)$	$G(f) * H(f)$
Korelasyon	$\int_{-\infty}^{\infty} g(t)h(t+\tau) dt$	$G(f)H(f)$
Parseval Teoremi	$\int_{-\infty}^{\infty} g(t) ^2 dt$	$\int_{-\infty}^{\infty} G(f) ^2 df$

3.2.3 Ayırık Fourier dönüşümü (AFD)

Mühendislikte fonksiyonlar sınırlı sayıda ayırık değerler yardımıyla temsil edilir. Veriler çoğunlukla ayırık formatta toplanır veya dönüştürülür. Analog sistemlerden alınan sürekli sinyal, bir bilgisayarda analiz ve değerlendirme işlemine tabi tutulmak istendiğinde ayırık veri dizisine dönüştürülür. Örnekleme (sampling) teorisine göre oluşturulan ayırık veri dizisi, sinyalin belli zaman aralıklarında kaydedilen büyüklük değerleridir. Sürekli $g(t)$ fonksiyonundan ayırık $g(t_k)$ dizisine geçiş,

$$g(t) \rightarrow g(k\Delta t) = g(t_k) \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3.22)$$

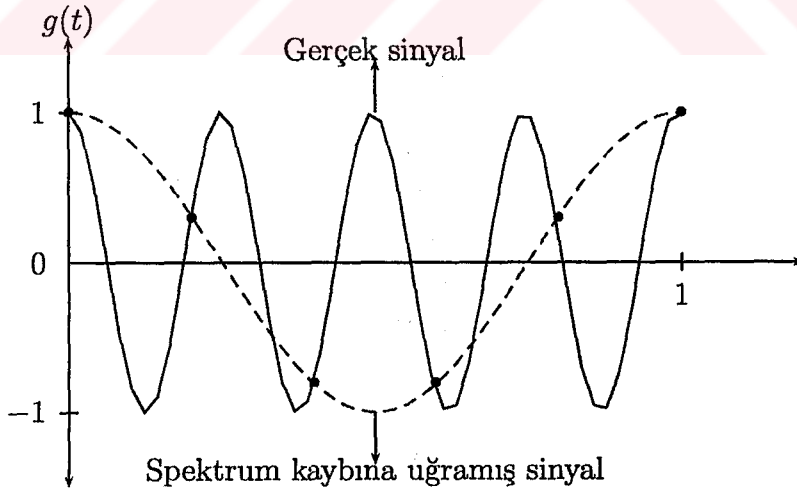
ile gösterilebilir. Burada Δt ayırık değerler arasındaki sabit zaman aralığıdır. Teoride sinyal sonsuz zaman aralığında gösterilse de, sinyal sayısallaştırıldığında sonlu zaman aralığından (time-limited) söz edilir: $k = 1, 2, 3, \dots, N - 1$

Δt zaman aralığının seçimi ayrık Fourier analizinin kritik karar aşamalarından biridir. Seçilen her zaman aralığına, Nyquist frekans olarak adlandırılan farklı bir frekans değeri karşılık gelir. Aralarındaki ilişki,

$$f_N = \frac{1}{2\Delta t} \quad (3.23)$$

bir zaman dizisi için yakalanabilecek frekansların üst sınırını belirler. Örneğin basit bir sinüs dalgası için örnekleme aralığı eğrinin ardışık maksimum ve minimum değerleri aldığı noktalar arasındaki uzaklık (tam dalga boyunun yarı uzunluğu) kadar olmalıdır. Örnekleme aralığının yetersiz olması durumunda sinyalin gerçek spektrumundan farklı (eksik) bir spektrum bilgisi elde edilecektir. Öte yandan bazı durumlarda bu olay çok yüksek frekanslı bileşenlerin orijinal sinyalden çıkarılması amacıyla (filtreleme) da kullanılır.

Frekans analizinde elde edilen spektrum sinyalin gerçek spektrumundan farklı olması olayına spektrum kaybı (aliasing) adı verilir. Spektrum kaybı giriş sinyalinin frekansının örnekleme frekansının yarısından büyük olması ($f > f_N$) durumunda ortaya çıkar. Şekil 3.4 sayısallaştırmada örnekleme aralığı seçiminin etkisini ortaya koymaktadır.



Şekil 3.4: 4 Hz'lik sinyalin 1 Hz'lik örnekleme aralığında sayısallaştırılması

İki boyutlu uzayda gerçek değerli bir $f(t)$ fonksiyonunu düşünelim. f_0, f_1, \dots, f_n

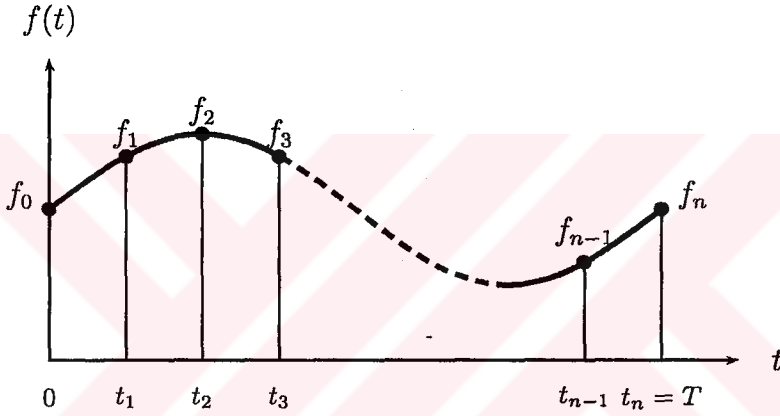
bu fonksiyonun her t için aldığı gerçek değerler olsun (bknz. şekil 3.5). Bu durum da fonksiyonun ayrık Fourier dönüşümü,

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-i\omega_0 n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.24)$$

olup, ters ayrık Fourier dönüşümü de,

$$f_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} F_k e^{i\omega_0 n} \quad (3.25)$$

formülüyle belirlenir. Her iki ifadede yer alan N , veri sayısıdır.



Şekil 3.5: Ayrık Fourier dönüşümünün örnekleme

Bu dönüşüm çifti bir önceki konuda söz edilen sürekli Fourier dönüşümünün benzer şekilde ayrık olarak hesaplanmasıdır. Bu işlem elde hesaplanamayacak kadar zordur. Çünkü N^2 sayıda işlem gerektirir. Bu büyüklükteki işlem yükünü azaltmak için hızlı Fourier dönüşümü geliştirilmiştir.

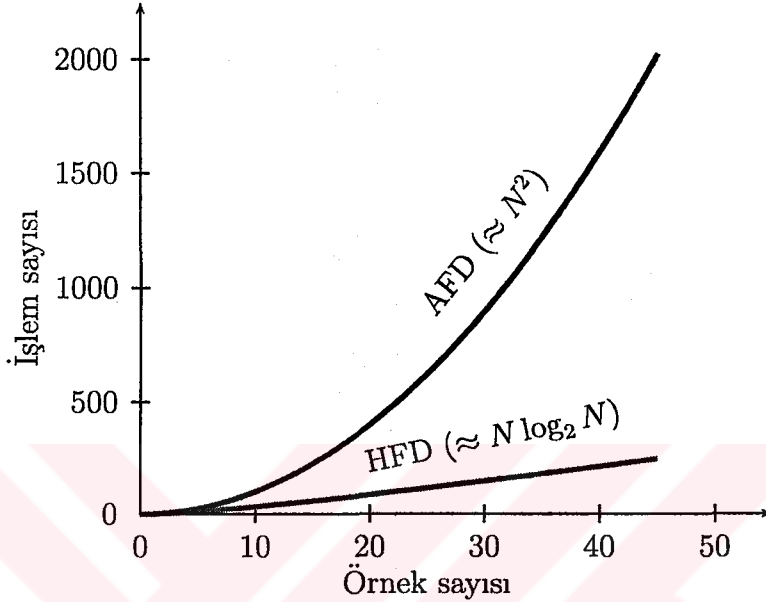
3.2.4 Hızlı Fourier dönüşümü (HFD)

Hızlı Fourier Dönüşümü, AFD'nin daha hızlı bir şekilde hesaplanabilmesi için geliştirilmiştir. HFD'nin hızlı oluşu operasyon sayısının daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Yani $AFD \approx N^2$, $HFD \approx N \log_2 N$ adet operasyon

gerektirir. $N=1024$ için;

$$\frac{\text{AFD}}{\text{HFD}} = \frac{1024 * 1024}{1024 * 10} \approx 10 \text{ kat}$$

fark vardır. N sayısı arttıkça aradaki fark da açılır (bkz. şekil 3.6).



Şekil 3.6: İşlem sayısı bakımından AFD ve HFD arasındaki ilişki

HFD, ilk defa Gauss tarafından ortaya atıldı. Daha sonra diğer bilim adamları çeşitli algoritmaları yazarak bu gelişime katkıda bulundu. Ortaya atılan her fikirde temel prensip N uzunluğundaki dizinin AFD'sini küçük parçalara ayırmak ve böylece işlemi hızlandırmaktır. Bunlardan en tanınmış olanı Cooley-Tukey ve Sande-Tukey algoritmasıdır. Cooley-Tukey algoritması zaman içinde seyreltme, Sande-Tukey de frekans içinde seyreltme işlemidir. Bu ikisi birbirinin ters işlemi olup sonuçta her ikisi de operasyon sayısını düşürür.

Sande-Tukey algoritması

N zaman dizisinin veri sayısı olmak üzere, ikinin kuvveti şeklinde bir tam sayıdır.

Yani,

$$N = 2^M \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu zorunluluk daha sonraki işlemleri kolaylaştıracaktır. AFD'yi hatırlamak gerekirse,

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.27)$$

idi. AFD'de periyodik olmayan dizilerin analizi söz konusu olduğundan, dizinin bütünü bir dalga olduğu varsayılır. Bu durumda $\omega = 2\pi/T$ iken $\omega = 2\pi/N$ haline dönüşür. (3.27) eşitliği yeniden yazılırsa;

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n W^{nk} \quad (3.28)$$

ifade edilebilir. Eşitlikte geçen $W = e^{-i(2\pi/N)}$ olup, kompleks değerli ağırlık fonksiyonu olarak adlandırılır. Diziyi iki eşit $(N/2)$ parçaya bölerek (3.27) eşitliğini dizinin iki yarısı için yeniden düzenlersek,

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} + \sum_{n=N/2}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \quad (3.29)$$

Eşitlikteki $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ olmak üzere ikinci toplam terimini birinciyle tutarlı hale getirmek için yeni bir $m = n - N/2$ değişkeni elde edilir. Böylelikle;

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} + \sum_{m=0}^{(N/2)-1} f_{m+N/2} e^{-i(2\pi/N)k(m+N/2)} \quad (3.30)$$

denklemini ortaya çıkar. Sadeleştirilirse;

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + e^{-i\pi k} f_{n+N/2}) e^{-i2\pi kn/N} \quad (3.31)$$

haline dönüşür. Eşitlikte hesabı kolaylaştıracak bir durum da söz konusudur. $e^{-i\pi k}$ ifadesi Euler eşitliği yardımıyla k 'nın tek veya çift değer alması durumuna göre sırasıyla 1 veya -1 olur. Bu nedenle bir sonraki adım dönüşümü k değerlerinin

tek veya çift olması durumuna göre ayırmak olacaktır. Çift değerler için,

$$\begin{aligned}
 F_{2k} &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) e^{-i2\pi(2k)n/N} \\
 &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) e^{-i2\pi kn/(N/2)}
 \end{aligned} \tag{3.32}$$

ve tek değerler için,

$$\begin{aligned}
 F_{2k+1} &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) e^{-i2\pi(2k+1)n/N} \\
 &= \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) e^{-i2\pi n/N} e^{-i2\pi kn/(N/2)}
 \end{aligned} \tag{3.33}$$

elde edilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus; eşitlikte $2k$ terimi kullanıldığından $k = 0, 1, 2, \dots, (N/2) - 1$ aralığında değerler alır. Ağırlık fonksiyonu gösterimde kullanılırsa, çift değerler için;

$$F_{2k} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) W^{2kn} \tag{3.34}$$

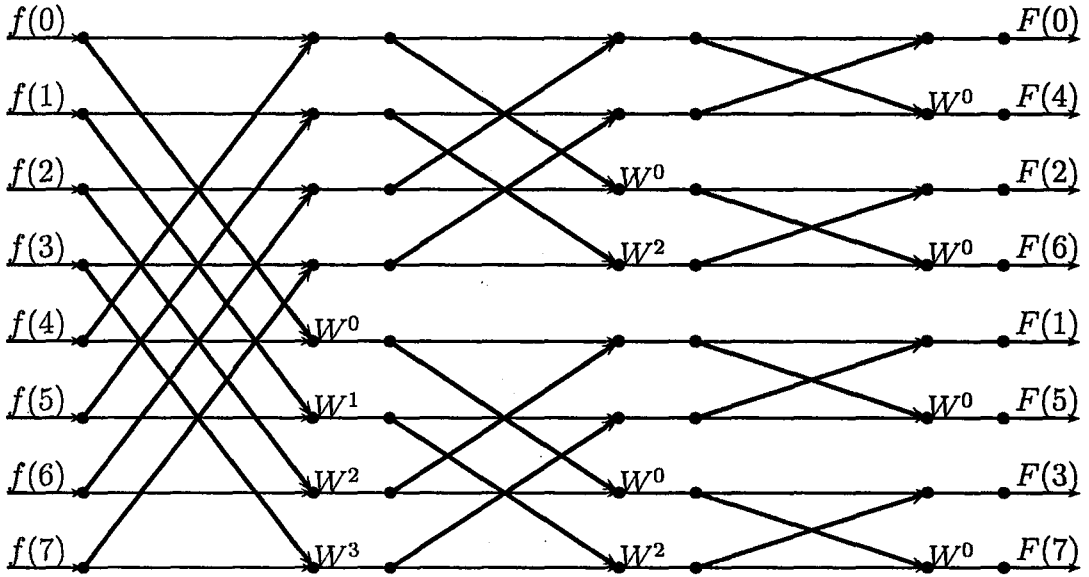
ve tek değerler için,

$$F_{2k+1} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) W^n W^{2kn} \tag{3.35}$$

Bu tek ve çift ifadeler bir dizinin $N/2$ uzunluğundaki elemanının transformasyonu olarak yorumlanabilir. Sande-Tukey algoritmasının seması Şekil 3.7 de görülmektedir.

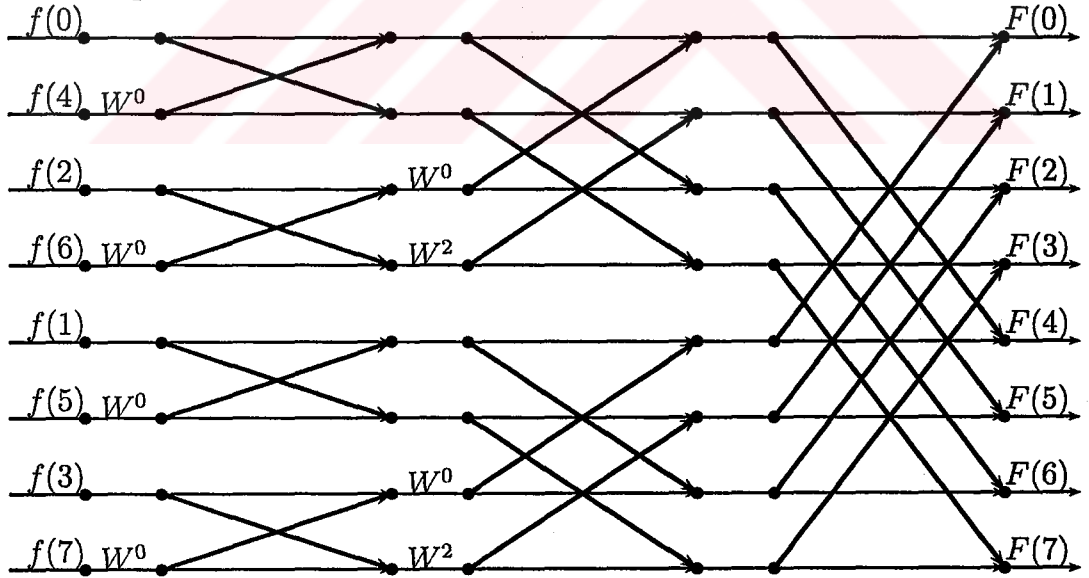
Cooley-Tukey algoritması

Cooley-Tukey algoritmasının seması Şekil 3.8 de görülmektedir. Bu yöntemde öncelikle dizi elemanları tek ve çift olmak üzere ikiye ayrılır, dönüşüm işlemi yapılır ve en sonunda doğru sıralamayla dönüşüm değerleri belirlenir.



Şekil 3.7: $N=8$ için Sande-Tukey Algoritmasının Akış Diagramı

Literatürde bu yaklaşım zaman içinde seyreltme olarak bahsedilmekle birlikte, önceki başlıkta bahsedilen Sande-Tukey algoritmasının ters işlemidir. Bu yöntemler birbirinden farklı organizasyonlar olmasına karşın, her ikisi de "böl ve analiz et" ilkesine dayanarak operasyon sayısını HFD'nin genel operasyon sayısı olan $N \log_2 N$ değerine düşürmektedir. -



Şekil 3.8: $N=8$ için Cooley-Tukey Algoritmasının Akış Diagramı

3.3 Nicelik Yönünden Fourier ve Spektral Analiz

Lineer transformasyonlar, özellikle Fourier ve Laplace transformasyonu, bilimsel ve mühendislik problemlerin çözümünde çokca kullanılan yöntemlerdir. Fourier transformasyonu daha çok lineer sistem analizleri, optik, rasgele süreç modelleme, olasılık teorisi, kuantum fiziği ve sınır değer problemi çözümlerinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla Fourier transformasyonu, problemlerin çözümünde kullanılan matematiksel ve fiziksel araç olarak bilimin birçok dalında karşımıza çıkar. Bazı bilim adamları Fourier teorisini sadece basit bir matematiksel araç olarak değil, aynı zamanda fiziksel bir olay olduğunu ifade etmiştir. Bilimin bazı dallarında bir fonksiyonun Fourier transformu başka bir fiziksel fonksiyon meydana getirdiği ortaya çıkmıştır.

Fourier analizi tanım olarak; önceki konuda bahsedilen trigonometrik polinomlar yardımıyla fonksiyonları ayrıştırmak ve bazı istatistiki yaklaşımlarda bulunmaktır. Yapılan analiz uygulamalarında hesaplanan değerler birçok özel ve kesin sonuçları içermektedir.

Spektral analiz ana tema olarak Fourier analizini kapsamaktadır. Her iki analizde de dizilerdeki gizli periyodiklikler belirlenir. Fakat yöntem olarak birbirinden farklıdır. Fourier analizde periyodiklikler matematiksel ifadeler yardımıyla ayrıştırılır (decomposing), spektral analizde ise periyodiklikler farklı frekans bandlarında modellenir (modelling). Ama spektral analiz ortaya çıkardığı bilgi nispetinde Fourier analizden daha detaylıdır. Bu nedenle daha çok tercih edilir. Zaman dizileri nümerik analize uygun olduğu için En Küçük Karelerle Spektral Analizi yapılabilir. Bu yöntem hakkında detaylı bilgi 5. bölümde anlatılacaktır.

4. ZAMAN DİZİSİ OLARAK DENİZ DÜZEYİ GÖZLEMLERİ

Öteki disiplinlerde olduğu gibi jeodezide de zaman dizileriyle sıklıkla karşılaşılır. Özellikle jeodinamik olaylarla ilişkili gözlemler (gravite, GPS, deniz düzeyi vb.) başlıca zaman dizileri arasında yer alır. Bu çalışmada deniz düzeyi gözlemlerinin analizi ele alınacağından, söz konusu gözlemlerin özellikleri, bileşenleri ve değişimine neden olan etmenlere bu bölümde kısaca değinilecektir.

Deniz düzeyi ölçmelerinin tarihi çok eskiye dayanır. Antik insanlar deniz düzeyinin düzenli hareketleri ile güneşin ve ayın hareketleri arasında bir ilişki olduğunu çok önceden fark etmişlerdir. Buna karşın çoğu insanlar da med-cezir olayını doğa üstü bir gücün varlığından kaynaklandığını düşünmüşlerdir.

Deniz düzeyinin düzenli salınım hareketinin dışında doğrusal bir hareketinin de olduğu günümüzde bilinen bir gerçektir. Oysaki 19. yüzyılda ortaya konulan çalışmalardan, ortalama deniz-düzeinin değişmediği sadece karaların düşey hareketinin olduğuna inanıldığı anlaşılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar aslında, hem denizlerin hem de karaların zaman içerisinde yukarı-aşağı yönde değiştiğini göstermiştir (Sanli ve Blewitt, 2001). Karalar, deprem ve diğer tektonik süreçlerin etkisiyle düşey yönde hareket ederken, ortalama deniz düzeyindeki yükselmeler ise buzulların erimesinin sonucu olarak okyanuslardaki su hacminin veya okyanus akımlarının değişmesiyle ilişkilidir.

Modern deniz düzeyi çalışmaları; deniz taşımacılığı, kıyı erozyonunu önleme, liman yapılarının dizaynı konularını ele almaktadır. Buna karşın jeodezik çalışmalar, ülke ortak yükseklik datumunun ve istasyon bölgesindeki alanın düşey yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Bu amaçla günümüzde Harita Genel Komutanlığı bünyesinde 8 adet mareograf istasyonu işletilmektedir (Yıldız vd., 2003).

Bunların yanısıra dünyada yapılan çalışmalar deniz düzeyinin hareketine neden olan çevresel etkilerin (rüzgar, nem, basınç v.s.) belirlenmesini amaç edinmiştir.

Bu konuda uluslararası birçok kuruluş dünyanın birçok yerinde (yaklaşık 2500 istasyonda) deniz düzeyi gözleme istasyonları kurarak bu tür çalışmalara katkıda bulunmaktadır. Hükümetlerarası Oşinografi Komisyonu (IOC: Intergovernmental Oceanographic Commission), Sürekli Ortalama Deniz Düzeyini Gözleme Servisi (PSMSL: Permanent Service of Mean Sea Level), Havai Üniversitesi Deniz Düzeyi Merkezi (UHSLC: University of Hawaii Sea Level Center), Tropik Okyanus Deniz Düzeyi Merkezi (TOGA-SLC: Tropical Ocean Global Atmospher Sea Level Center) bunlardan sadece birkaçıdır.

4.1 Tanımlar

Bilimsel deniz düzeyi çalışmalarının temelini, uzun periyotlu zaman dizilerinin analizi oluşturur. Çünkü süreç ne kadar uzun olursa, dizinin içerdiği uzun periyotlu hareketlerin (eğer varsa) sayısı da aynı ölçüde artar. Herhangi bir dizi içindeki deniz düzeyi ölçmesi 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 etkilerle kontrol edilir ve birbirleriyle korelasyonlu değildir. Kısaca tanımlarını yapmak gerekirse;

Ortalama deniz düzeyi en az bir yıllık zaman sürecinde saatlik gözlemlerin aritmetik ortalamasıyla belirlenir. Bilimsel ve jeodezik amaçlar için bu süreç en az 20 yıl olmalıdır. Çünkü deniz düzeyinin değişimini etkileyen en uzun periyotlu salınım olan Nodal hareketin periyodu 18.6 yıldır (Ainscow vd., 1985).

Gel-git bazı jeofiziksel etkilerle tutarlı genlik ve fazı olan periyodik deniz hareketleridir. En önemli etken güneşin ve ayın gravite alanının deniz yüzeyine olan etkisidir. Buna gravitasyonel gel-git de denir. Bunun yanısıra az da olsa rüzgarın veya diğer meteorolojik etmenlerin oluşturduğu meteorolojik gel-gitler de vardır. Ama bu etkiler düzenli olmayıp, rasgele süreci oluşturur.

Meteorolojik artıklar hava durumundaki farklılıklara bağlı olarak oluşan düzensiz değişimlerdir. Bu bileşen bazen kabarma (Surge) olarak da adlandırılmakla

birlikte rüzgar, nem, basınç v.b. etkilere göre farklılık gösterir.

4.2 Deniz Düzeyi Değişiminin Nedenleri

Deniz düzeyi ölçümleri üzerinde en etkili bileşen ay ve güneş başta olmak üzere diğer gezegenlerin uzaydaki konumlarına bağlı çekim etkileri sonucu oluşan gravitasyonel gel-git bileşenidir. Bunun yanısıra meteorolojik ve oşinografik etkiler, deniz altı depremleri (Tsunami) ve yerkabuğu hareketleri ile diğer bozucu etkiler de deniz düzeyi değişimine neden olur. Ölçülerin analizinde esas olarak gel-git etkisinin bileşeni belirlenir (Gürdal, 2002). Diğer etkilerin modellenmesi oldukça güçtür.

4.2.1 Gel-git

Gravitasyonel gel-git, bir gök cismindeki parçacıkların komşu cismin çekim etkisiyle oluşan periyodik hareketleridir. Gel-gitteki değişimler yer-ay ve yer-güneş arasındaki düzenli hareketlere bağlı olarak gerçekleşir. Bu değişimler yeryuvarının çekim potansiyeline yansır. Gel-git, ayın evreleri ve mevsimlere bağlı olarak esasen ay ve güneş tarafında meydana gelir. Bu davranışlar tutarlı olduğundan gel-git olayının ön-kestirimi (prediksiyonu) mümkündür.

Gel-git etkisiyle en fazla değişim ekvatora yakın yerlerde 0.5 m civarındadır. Bununla birlikte okyanuslarda 2.0 m, okyanusa kıyıları olan kıyılarda bazen 10.0 metre civarında deniz düzeyi değişimleri gerçekleşmektedir. Hatta Kanada'nın Atlas okyanusu kıyılarında 12.9 m, Fundy körfezinde ise yaklaşık 15 m gibi değerlere ulaşmaktadır (Ainscow vd., 1985).

Gel-git verilerinin incelenmesine *Gel-Git Analizi* denilmektedir. Geçmişte ilk analizler gel-git ölçülerinin astronomik olaylarla ilişkilendirilmesi şeklinde sadece nicelik yönünden tanımı yapılmıştır. Şimdilerde ise uygulamalı matematikteki gelişmeler bu kayıtların analizi ile gel-gitin nitelik yönünden belirlenebileceği ortaya çıkmıştır. Böylece kayıtlardaki periyodikliğin aranması gel-git analizinin temelini oluşturmaktadır.

Gel-git etkisi kısa ve uzun periyotlu olmak üzere 2 sınıfta incelenebilir. Kısa periyotlu olanlar günlük ve yarı-günlük, uzun periyotlu olanlar ise aylık ve yıllık şeklinde ifade edilir. En uzun periyotlu olanlar Lunar Perigee (9.3 yıl) ve Nodal (18.6 yıl) gel-git etkileridir. Gel-git'i oluşturan bileşenler Çizelge 4.1 de verilmiştir (Stewart, 2004).

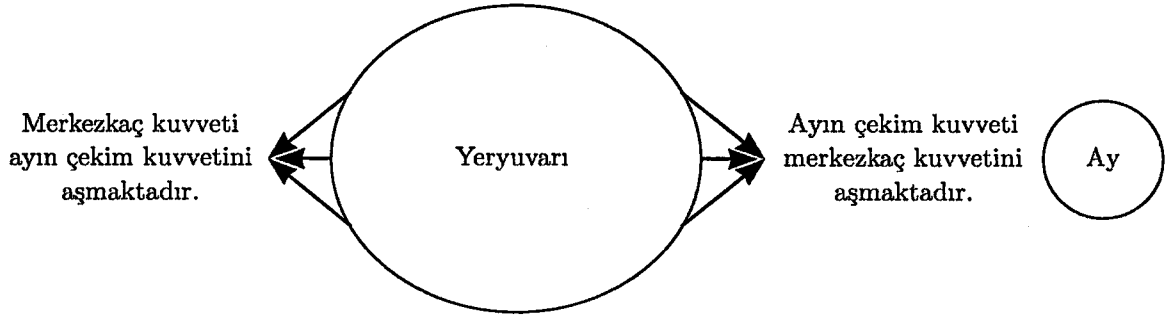
Çizelge 4.1: Gel-git'in temel bileşenleri

Gel-Git Bileşeni	periyot (Güneş saati)	Tanım	Açıklama
M2	12.4206	Temel Ay	Yarı-günlük
S2	12.0000	Temel Güneş	Yarı-günlük
N2	12.6584	Ay büyük eliptiki	Yarı-günlük
K2	11.9673	Ay Güneş ortak	Yarı-günlük
K1	23.9344	Ay Güneş ortak	Günlük
O1	25.8194	Temel Ay günü	Günlük
P1	24.0659	Temel Güneş günü	Günlük
Q1	26.8684	Ay büyük eliptiki	Günlük
MF	327.85	Ay iki haftası	Uzun dönem
MM	661.31	Güneş ayı	Uzun dönem
SSA	4383.05	Yarı Güneş yılı	Uzun dönem

Gravitasyonel etkinin yanısıra yerin kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu oluşan merkezkaç kuvveti de gel-git'e neden olur. Dünya üzerinde bir başlangıç noktasından belirli bir yönde bırakılan parçacık 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 4.1).

4.2.2 Meteorolojik etkiler

Meteorolojik etkiler nedeniyle oluşan deniz hareketleri düzenli olmayıp, havadaki basınç, nem, rüzgar ve sıcaklık değişimine bağlı olarak farklılık gösterir. Meteorolojik etkiler nedeniyle ölçülen deniz seviyesi değerleri ile tahmin edilen deniz



Şekil 4.1: Deniz düzeyine merkezkaç ve ayın etkisi

seviyesi değerleri arasında 0.03-0.25 m ye varan değişimler gözlenmektedir.

Atmosfer, deniz üzerinde fiziksel olarak iki farklı etkide bulunur. Atmosfer basıncındaki değişimler bunlardan ilki olup, deniz düzeyinin düşey yönde değişimine neden olur. Örneğin atmosfer basıncının 1 mbar artması, deniz düzeyini yaklaşık 1 cm azalması anlamına gelmektedir. Ülkemizde, Harita Genel Komutanlığınca işletilen mareograf istasyonlarında yapılan eş zamanlı meteorolojik ölçülerin analizinde çıkan sonuçlar bunu doğrulamaktadır (Yıldız vd., 2003).

Rüzgarın deniz yüzeyi üzerindeki sürüklenme etkisi ikinci büyük meteorolojik etki olup, rüzgar hızının karesiyle doğru orantılıdır. Bu sürüklenme etkisi ile deniz suyu harekete geçer. Sığ deniz sularında rüzgarın esme yönünde, derin sularda ise kuzey yarım küre de saat yönünde, güney yarım kürede saat yönünün tersi yönünde hareket eder (Ainscow vd., 1985).

4.2.3 Diğer bozucu etkiler

Deniz altı depremleri ile düşey yer kabuğu hareketleri deniz düzeyini düzensiz değişimlere maruz bırakır. Bu deniz altı depremlerine *Tsunami* denilmektedir. Tsunami olayına çoğunlukla okyanuslarda (özellikle Pasifik Okyanusu'nda) rastlanır. Tsunami etkisiyle oluşan dalga boyu 7-13 m arasında değişir. Deprem kaynağının hemen yakınında tsunami genliği 0.5 m gibi küçük değer iken, sığ

kıyılara yaklaştıkça genliğinde anormal değişimler görülür. 1999 yılında Marmara ve 2004 yılında Güney Asya depreminde Tsunami nedeniyle denizde oluşan dalgalar bölgenin büyük bir kısmını etkilemiştir.

Ayrıca suyun yoğunluğu da deniz düzeyini bozucu etkiler yapar. Oşinografi bilimi deniz suyunun yoğunluğu ve okyanus akıntılarıyla ilgilenir. Deniz suyunun yoğunluğundaki değişim mevsimsellik içerir. Kışın yağışların artmasıyla suyun yoğunluğu azalır, yazın da sıcaklıkların etkisiyle kuraklık olur ve suyun yoğunluğu artar. Yoğunluk değişimi deniz düzeyinin farklılık göstermesine neden olur. Buna *sterik deniz düzeyi değişimi* de denir.

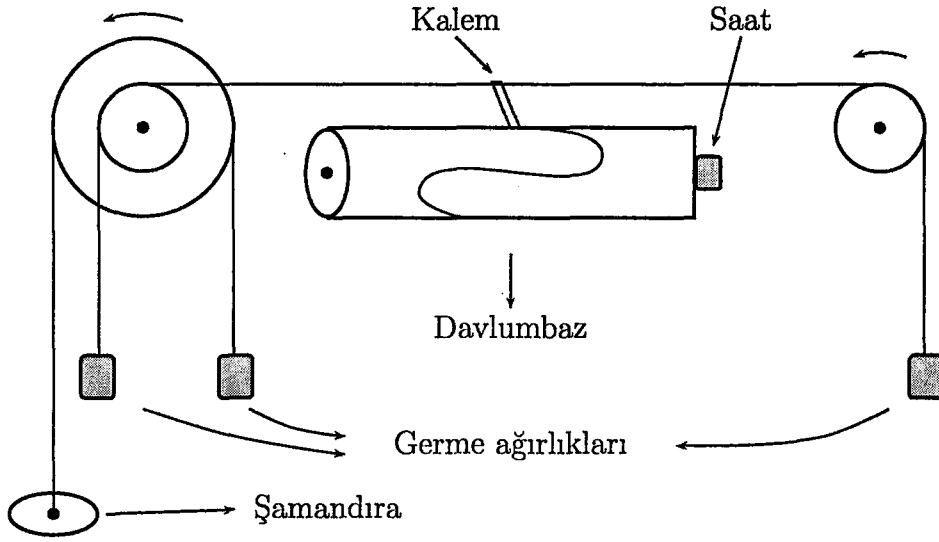
4.3 Deniz Düzeyi Ölçme Yöntemleri

Deniz düzeyi ölçmeleri 18. yüzyıla kadar uzanmaktadır. İlk dönemlerde mareograf istasyonları kullanılırken, teknolojideki son gelişmelerle günümüzde uydu altimetresi ve basınç ölçerler gibi başka yöntemlerden de yararlanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler mareograf istasyonlarında kullanılan ölçme sistemlerini de etkilemiştir. Günümüzde deniz düzeyi istasyonları deniz düzeyini anlık ölçmenin yanında verileri anlık olarak da değerlendirme yeteneğine sahiptir.

4.3.1 Mareograf istasyonu

Mareograf istasyonu deniz kıyısında (nehir ağzı ve burun olmayan yerlerde) deniz düzeyini sürekli olarak ölçmeye yarayan gözlem merkezleridir. Bu merkezlerde durgun su yüzeyi kuyularda anlık olarak ölçülür ve kayıt edilip, veri merkezine iletilir.

Mareograf istasyonlarındaki ölçüm işi ilk zamanlarda analog sistemlerle yapılmaktaydı. Şekil 4.2'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



Şekil 4.2: Analog sistemin basit yapısı

mekanik problemler ve çoğu kez sayısallaştırma hataları nedeniyle tümüyle terkedilmiştir.

Bu alanda yapılan yeniliklerle sayısal (dijital) sistemler ortaya çıkmıştır. 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 ölçüler yapar ve gün içindeki saatlik değerleri bu verilerin ortalamalarını alarak bulur. Bu sistemde veriler dijital olduğu için anlık olarak bir telefon hattıyla veri işleme merkezine ulaştırılır.

Yukarıda tanımlanan genel ifadelerle birlikte Mareograf istasyonları ölçme sistemlerine göre 6'ya ayrılır. Bunlar;

- Basit sistem
- Şamandıralı sistem
- Durgunlaştırma kuyulu sistem
- Akustik yansımali

- Sualtı basınçlı sistem
- Açık deniz basınçlı

şeklinde sıralanabilir. Bu sınıflandırma su düzeyi ölçme yöntemine göre yapılmıştır. Daha detaylı bilgi (Onselen, 2000)'de bulunabilir.

Yıllarca değişik ölçme doğruluğu ve kayıt prensibi olan türlü istasyon sistemleri geliştirilmiştir. Deniz düzeyi ölçülerinin kalitesi sadece ölçme doğruluğuyla orantılı değil, aynı zamanda ölçü frekansı ile de orantılıdır. Ayrıca ortalama değerler saatlik ve aylık değerlerin aritmetik ortalamasıyla belirlendiği için seçilen ortalama tekniği (3 saatlik, 6 saatlik ortalamalar v.s.) zaman dizilerinin kalitesini etkiler. Dolayısıyla yüksek frekanslı etkilerin yok olmasına neden olur.

İstasyondan alınan anlık veriler ulusal veri işleme merkezine (örn. Türkiye için Ankara) telefon hattı yardımıyla aktarılır. Burada veriler ön-analizden (kalite kontrolünden) geçirilir. Kontrol zamanlama, ölçek ve kaba hatalara karşı yapılır; gerektiği durumlarda düzeltme getirilir. Böylece veriler sayısal analize uygun hale getirilir. Bundan sonra çoğunlukla harmonik analiz metodu kullanılarak ortalama deniz düzeyi, deniz düzeyindeki doğrusal değişim ve düşey yer kabuğu hareketleri araştırılır.

4.3.2 Uydu altimetresi

Artık bilimsel gözlemler sadece yerden değil uzaydan da yürütülebilmektedir. Uzay ekipmanlarındaki teknolojik gelişmeler yer bilimlerine (özellikle jeodeziye) önemli katkıda bulunmaktadır. Gözlemlerin homojen, yoğun, hassas ve gezegenin tümüne ait (global) olması uydu yöntemlerinin avantajları olarak görülebilir.

Bilindiği üzere okyanuslar yerküre yüzeyinin yüzde 73'ünü oluşturmaktadır. Bu nedenle bu yüzeyde oluşan değişimler başta insan olmak üzere çevreyi ve fiziksel yeryüzünü doğrudan etkiler. Atmosferde oluşan ısınma, soğuma ve diğer olaylar, okyanus akımları (sirkülasyonu) nedeniyle oluşur. Bu olaylar hakkında daha detaylı bilgiler edinildiğinde, küresel ölçekte daha gerçekçi modelleme yapılarak tahminlerde bulunulabilir.

Uydu altimetresinin asıl amacı okyanusta meydana gelen süreçleri gözlemek ve özelliklerini belirlemektir. Böylece altimetre verileri, ortalama deniz düzeyi değişimlerini kullanarak fiziksel olayları görüntülemek, buzul hareketi, rüzgar hızı, dalga boyu ve sıcaklık değişimi gibi çevresel verileri toplamak için kullanılır. Bunun yanısıra okyanus gravite alanı ve gel-gitleri hakkında detaylı bilgiler edinebileceğimiz bir metoddur (Vergos, 2002). Altimetrik yöntem yardımıyla deniz düzeyi yüksekliği (sea surface height) yüksek duyarlılıkla ölçülebildiğinden jeodin belirlenmesinde çok önemli bir oynar.

Uydu altimetreleri değişik disiplinlerin amaçlarına uygun olarak farklı kuruluşlarca işletilmektedir. Bu kuruluşların herbiri farklı uydu ve veri formatı kullanmaktadır. Bilinen bazı altimetre misyonları şunlardır (Vergos, 2002):

1. Skylab, GEOS-3 ve Seasat Uyduları
2. GEOSAT altimetric uydusu
3. ERS1/2 altimetric uydusu
4. Topex/Poseidon altimetric uydusu
5. GFO altimetric uydusu

Uydulardaki altimetreler, kapsama alanındaki 1000 kilometrekarelik bölgenin (deniz yüzeyinin) topoğrafyasını detaylı bir şekilde çıkarabilmektedir. Ölçü doğruluğu 1000 km de 1 cm (≈ 0.01 ppm) dir (Vergos, 2002).

Altimetrenin bu kadar hassas olması, aşağıdaki nedenlerden ötürü mareograf istasyonunun önemini ortadan kaldırmaz:

- altimetric ölçülerin doğruluğunun ancak açık denizde sağlanabilmesi,
- mareograf istasyonlarının maliyetinin düşük ve ölçme sisteminin süreklilik sağlaması,
- uzun süreli gözlemler yardımıyla seküler (yüzyıllık) değişimin belirlenebilmesi,

- yüksek frekanslı gözlem yapabilme,
- kıyı bölgelerindeki mühendislik uygulamaları,
- altimetre sistemlerinin kalibrasyonunda (rölatif) kullanılması.



5. EN KÜÇÜK KARELERLE SPEKTRAL ANALİZ

Teknolojideki her gelişme, ölçme sistemlerinin duyarlılığını ve yapılan ölçülerin doğruluğunu bir basamak daha yukarı taşımasına rağmen, gerçekte her ölçü istenmedik bir büyüklük (gürültü) içerir. Geleneksel yaklaşımda bu tür olumsuz büyüklüklerin etkisini en aza indirmenin yolu, ölçü sayısını gerektiğinden fazla tutarak en olası değeri elde etmektir. Diğer yandan aynı teknolojik gelişmeler, ölçme sistemleriyle sürekli gözlem yapmayı olanaklı kılmış ve gözlem dizilerindeki gürültü unsurlarının daha yakından incelenmesine zemin hazırlamıştır. Günümüzde yoğun veri veya gözlem dizileriyle uğraşmak durumunda kalan her bilim dalında gürültünün tanımlanması ve onun gözlemlerden ayrıştırılması üzerine yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür.

En Küçük Karelerle Spektral Analiz (EKKSA) yukarıda ifade edilen türdeki sistematik hataların neden sonuç ilişkisini belirlemek amacıyla Vaníček tarafından 1969-1971 yıllarında ortaya atıldı ve devam eden yıllarda geliştirildi (Vaníček, 1969a, 1971). Bu nedenle literatürde Vaníček spektral analizi olarak da anılmaktadır (Taylor ve Hamilton, 1972). Konunun esası deneysel zaman dizilerine ait güç spektrumunun hesaplanması için yapılan en küçük kareler kestirimine dayanır. Yöntem geleneksel yöntemlerin -özellikle klasik Fourier analizinin- bazı eksik ve olumsuz yönlerini tamamlamaktadır; bu şekliyle Alman bilim adamı Gauss'un EKK yaklaşımının deneysel zaman dizilerine uygulanması olarak algılanabilir. Zaman dizileri söz konusu olduğundan başta yerbilimleri (astronomi, jeodezi, jeofizik vd.) olmak üzere öteki uygulamalı bilimlerde de başarıyla kullanılmaktadır.

EKKSA temel olarak iki çeşit probleme çözüm sağlar: Birinci durumda gözlem dizileri datum kayıklıkları, doğrusal eğim gibi bileşenleri barındırılabilir. İkinci durumda ise gözlemler bu tür sistematik etkilerden arındırılmış olabilir. Her iki durum için de spektrayı hesaplamak mümkündür. Sonuç olarak sınırlı bir

frekans aralığında hem sistematik bileşenler hem de gizli periyodiklikler birlikte kestirilebilir.

5.1 EKKSA'nın Nicelik Yönünden Tanımı

Girişte de bahsetildiği gibi; EKKSA deneysel zaman dizileri içindeki periyodiklikleri belirleyen bir analiz yöntemidir. Diğer analiz yöntemlerinden (Fourier, dalgacık gibi) farklı olarak bazı zorunlulukları ortadan kaldırmıştır. Klasik Fourier yaklaşımı; zaman dizisindeki periyodikliği, sinüs ve kosünüs fonksiyonları kullanarak ayrıştırır. periyodikliği belirlemek amacıyla yapılan bu tür işlemler spektral analizin temelini oluşturur.

Bazı bileşenler verilerdeki söz konusu periyodikliği saklayacak kadar istenmeyen sistematik gürültü bileşenlerini içerebilir. Örneğin doğrusal eğim bunlarından sadece bir tanesidir. Klasik spektral analizde bu bileşenler ön-analiz aşamasında verilerden ayrıştırılır. Ayrıştırma işlemi sırasında bazı önemli bilgilerinde kaybolma olasılığı vardır. Bu, analiz için istenmedik bir sonuç doğurur. EKKSA'da doğrusal eğime bir bileşen gibi davranıldığından diğer bileşenlerle aynı kategoride değerlendirilir ve diğer bileşenlerle eş zamanlı olarak hesaplanır.

Teknolojinin gelişmesiyle veri toplayan donanımlar da yenilenmektedir. Yeni üretilen her donanımın duyarlılığı bir öncekine göre daha iyi olacaktır. Dolayısıyla iki tip ekipmandan alınan veriler, birlikte değerlendirmek istendiğinde farklı ağırlıklar söz konusu olacaktır. Böylece hesaplamalara ağırlık bileşenini de katmak gerekecektir. EKKSA böyle bir düzenlemeye elverişlidir, kısacası P ağırlık matrisi işleme katılabilir.

Zaman içerisinde ölçü sistemleri de yenilenmektedir. Her yeni sistemde aletin ölçme aralığı değişmektedir. Bu durumda zaman dizilerinde farklı zaman aralıklı verilere rastlamak mümkün olacaktır. EKKSA'da eşit olmayan veri aralıklı dizilerin analizi de yapılabilmektedir.

Klasik ve EKK ile spektral analiz teknikleri arasındaki ana metodolojik fark, ilkinin verilerdeki periyodikliği ayrıştırması diğerinin modellenmesidir. Bu mod-

elleme çoğu kez trigonometrik olmayan fonksiyonları da belirlemeye yarar. Örneğin, peryodik olmayan meteorolojik ve diğer etkilerin de modellenmesi gibi. EKKSA'nın bir diğer özelliği de zaman dizisindeki bir sistematik fonksiyon etkisinin elimine edilebilmesi ve sinyale etkisinin sinyale zarar vermeden kaldırılabilmesidir. Örneğin verilerde bir peryodik bileşen olduğunun önceden bilinmesi verilerden analiz anında bir bileşen gibi davranılmasını gerektirir.

Klasik Fourier anlayışında, bazı bitişik frekanslar tek bir peryotmuş gibi görünmesini engellemek için veri sayısında bazı sınırlamalar vardır. Örneğin Hızlı Fourier dönüşümünde veri sayısı ikinin kuvvetleri şeklinde (2^N) olmalıdır. Bu durumda veri sayısı harmonik analizle uygun sayıya getirilir.

Zaman dizileri bazı zaman aralıklarında (bakım, onarım, kalibrasyon v.s. nedenlerle) kesiklikler gösterir. Bu durumda çoğunlukla enterpolasyon (hormanik analiz veya doğrusal) teknikler kullanılarak kısa boşluklar doldurulur. Bu davranış verilerde bir yapaylık meydana getirmektedir. Dolayısıyla verilerin doğallığına ve bilimselliğine gölge düşürür. Yine dizilerin toplama aşamasında sistem yenileme, deprem, ani çökme ve yükselme gibi nedenlerle datum kayıklıklarına rastlanır. Bu durumda klasik yöntemlerde her bir datum için ayrı değerlendirme yapılırken, bu yöntemle her iki datum hesap anında değerlendirilmektedir. Bu tür aksaklıklar EKKSA için kolayca yapılabilecek işlemlerdir. Böylece verilerin hiç birini ön-işleme (pre-processing) sokmaya gerek yoktur.

EKKSA'nın bu tür avantajlarının yanısıra dezavantajı, Hızlı Fourier dönüşümü ile karşılaştırıldığında daha yavaş oluşudur. Yapılan hesaplamalarda klasik yöntemlerin tüm eksiklikleri bu yöntemin üzerine yüklendiğinden hantal bir yapıya sahiptir. Yöntemin bilgisayarlarda programlanması ve modern bilgisayarların gelişmesiyle buna kesin çözüm sağlanmıştır.

5.2 EKKSA'nın Matematiksel Teorisi

EKKSA'nın amacı; $f(t)$ deneysel zaman dizisindeki peryodik sinyalleri belirlemektir. Burada zaman dizisi, hem rasgele hem de sistematik gürültüleri içeriyor

olarak kabul edilecektir. Buna göre zaman dizisi \mathbf{f} , bir \mathbf{g} fonksiyonuyla yeniden modellenebilir:

$$\mathbf{g} = \Phi \mathbf{x} \quad (5.1)$$

Burada geçen $\Phi = [\Phi_s | \Phi_n]$ Vendermonde matrisidir (Pagiatakis, 2000). $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_s | \mathbf{x}_n]$ bilinmeyen parametreler vektörüdür. Burada s , sinyali; n , gürültüyü ifade eder. (5.1) eşitliği yeniden gözden geçirildiğinde Φ matrisinin Φ_s bölümünü sistematik (periyodik ya da aperiodyk), Φ_n bölümünü de rasgele bileşenler oluşturur. Spektral analiz uygulandığında eşzamanlı olarak her iki bileşen tipi de EKK yöntemiyle belirlenir.

Bir zaman dizisindeki spektranın (\mathbf{s}) hesaplanabilmesi için birçok yöntem uygulanabilir. Burada spekturumu en basit yöntemle hesaplamak gerekirse,

$$\begin{aligned} \mathbf{t} = t_i & \quad \text{gözlenen zaman vektörü } (i = 1, 2, \dots, n), \\ \mathbf{f}(\mathbf{t}) = f_i & \quad \text{gözlem vektörü,} \\ \omega = \omega_j & \quad \text{spektral değeri aranan açısız frekans vektörü } (j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

olmak üzere,

$$\mathbf{s}(\omega) = \mathbf{s}_j = \mathbf{s}(\omega_j)$$

spektral değerleri bulunur. Spektranın hesaplanabilmesi için öncelikle aşağıdaki denklem sisteminin çözümü gerekir.

$$\hat{\mathbf{c}} = (\Phi^T \mathbf{W} \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{W} \mathbf{f} \quad (5.2)$$

$$\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{f} - \Phi \hat{\mathbf{c}} \quad (5.3)$$

Eşitliklerde geçen, Φ gözlemler ile bilinmeyen parametreler arasındaki ilişkiyi (katsayılar matrisi), $\mathbf{W} = \mathbf{C}^{-1}$ f'nin varyans-kovaryans matrisinin tersini, $\hat{\mathbf{v}}$, hata vektörünü tanımlar.

Bu katsayıların EKK yaklaşımı ile hesaplanması durumunda;

- \mathbf{f} yaklaşık bilinen vektör (gözlemlere dayanması gerekmez),
- Φ bir çok kolon vektörler içeren temel fonksiyondur

$(\Phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_m])$,
W ağırlık fonksiyonu; EKK yaklaşımında çoğunlukla birim
 matris olarak dikkate alınır.

$\mathbf{f} = \Phi \mathbf{c}$ eşitliğini yeniden yazarsak;

$$\mathbf{f} = \sum_{i=1}^m c_i \phi_i \quad (5.4)$$

Burada \mathbf{f} değerine en yakın yaklaşık \mathbf{p} değerinin bulmak için,

$$\mathbf{p} = \sum_{i=1}^m \hat{c}_i \phi_i \quad (5.5)$$

eşitliği EKK yöntemiyle çözülür. Fonksiyon ile yaklaşım arasındaki fark, hatayı $\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{f} - \mathbf{p}$ verir.

ϕ_i ,

$$\phi_1 = \cos \omega_j t \quad \phi_2 = \sin \omega_j t \quad (5.6)$$

şeklinde kosinüs ve sinüs fonksiyonlarından oluşur. Her ω_j değeri, hesaplanmak istenen $s(\omega_j)$ 'nin bir frekansıdır.

$$\mathbf{p}(\omega_j) = \hat{c}_1 \cos \omega_j t + \hat{c}_2 \sin \omega_j t \quad (5.7)$$

Buradaki yaklaşık parametre değeri $\hat{\mathbf{c}}$ (5.2) de belirlenen,

$$\hat{\mathbf{c}} = \begin{bmatrix} \hat{c}_1 \\ \hat{c}_2 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

matrisiyle gösterilir. Ağırlıklar olmadığı takdirde, yaklaşık parametreler kısaca;

$$\hat{\mathbf{c}} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{f} \quad (5.9)$$

şeklinde ifade edilir.

En genel şekliyle düşünmek gerekirse, aşağıda verilen kesirli ifadenin değerini

irdeleyeceğiz,

$$s = \frac{\mathbf{f}^T \mathbf{p}}{\mathbf{f}^T \mathbf{f}} \quad (5.10)$$

Bu kesirli ifade, \mathbf{p} 'nin \mathbf{f} deki izdüşümünün \mathbf{f} 'in uzunluğuna oranını vermektedir. Eşitlik (ω_j) değeri için genelleştirilirse,

$$s(\omega_j) = \frac{\mathbf{f}^T \mathbf{p}(\omega_j)}{\mathbf{f}^T \mathbf{f}} \quad (5.11)$$

halini alır. Yani her spektral değer için ayrı ayrı tek en küçük kareler yaklaşım değeri hesaplanmak zorundadır.

Birbirinden farklı birçok disiplinde zaman dizilerinin spektrum hesabıyla uğraşmaktadır. Spektrum hesabı, EKKSA'nın da esas amacını oluşturmaktadır. Zaman dizisindeki bazı bileşenlerin modellenmesi ve geriye kalan artık zaman dizisinde spektrum hesabının yapılması, yöntemin üstün yanıdır. Bu durum anlaşılması ve uygulanması oldukça zordur. Daha anlaşılır kılmak için fonksiyonel analiz konusunu irdelemek faydalı olacaktır.

5.2.1 Fonksiyonel analiz

Fonksiyonel analiz kavramı kabaca fonksiyonların analizidir. Bir fonksiyonel ise; değer kümesi \mathfrak{R} (reel sayılar kümesi) olan vektör değerli skaler bir fonksiyondur. Yani; tanım kümesini oluşturan uzayın birim vektörleri cinsinden ifade edilen bir fonksiyondur. Genel olarak fonksiyonlar, iç çarpım, norm ve metrik olmak üzere üç çeşittir.

\mathbf{f} ve \mathbf{g} ,

$$\mathbf{f} = (x_1, y_1, z_1) \quad \mathbf{g} = (x_2, y_2, z_2) \quad \in \mathfrak{R}^3$$

şeklinde üç boyutlu uzayda herhangi iki vektör olmak üzere;

$$\mathbf{f} \cdot \mathbf{g} = \langle \mathbf{f}, \mathbf{g} \rangle = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2 \quad (5.12)$$

olarak tanımlanan $\mathbf{f} \cdot \mathbf{g}$ veya $\langle \mathbf{f}, \mathbf{g} \rangle$ fonksiyonuna, \mathbf{f} ve \mathbf{g} fonksiyonlarının skaler çarpımı denir. Bu fonksiyon yardımıyla elde edilen uzay ise iç çarpım uzayı veya

(nokta çarpımı) uzayı denir.

Skaler çarpım fonksiyonu yardımıyla verilen norm fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir:

$$\| \cdot \| : X \rightarrow \mathfrak{R} \longrightarrow \|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle} \quad (5.13)$$

($x \in X$). 5.12 de tanımlanan skaler çarpım fonksiyonu için değişik gösterimler vardır. Norm fonksiyonuyla da gösterilmesi mümkündür. f ve g vektörleri arasındaki açı θ olmak üzere;

$$\langle f, g \rangle = \|f\| \|g\| \cos \theta \quad (5.14)$$

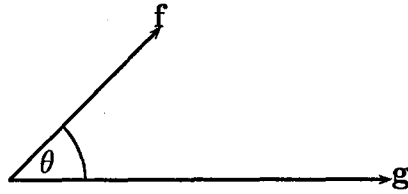
şeklinde norm fonksiyon kullanılarak, skaler çarpım ifade edilebilir. Özel olarak bu iki vektör birbirine dik ise; $\theta = \frac{\pi}{2}$ için $\cos \theta = 0$ olduğundan,

$$\langle f, g \rangle = 0 \quad (5.15)$$

ifadesi elde edilir. (5.14) eşitliği yardımıyla iki vektör arasındaki açı;

$$\cos \theta = \frac{\langle f, g \rangle}{\|f\| \|g\|} \quad (5.16)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bu açının gösterimi şekil 5.1 de görülmektedir. Ayrıca; f



Şekil 5.1: θ açısının grafik gösterimi

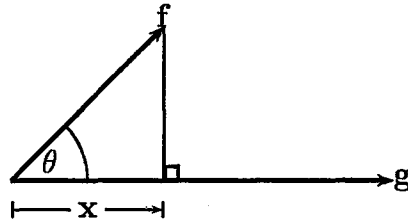
vektörünün g vektörü üzerindeki izdüşümü;

$$\begin{aligned} \|f\| \cos \theta &= \frac{\langle f, g \rangle}{\|g\|} \\ \|f\| \cos \theta &= \|x\| \end{aligned} \quad (5.17)$$

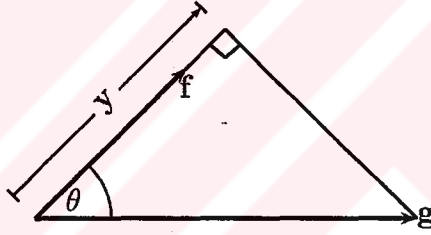
ve g vektörünün f vektörü üzerindeki izdüşümü;

$$\begin{aligned} \|g\| \cos \theta &= \frac{\langle f, g \rangle}{\|f\|} \\ \|g\| \cos \theta &= \|y\| \end{aligned} \quad (5.18)$$

olarak belirtilir. Bu iki vektörün grafik gösterimi Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 de yer almaktadır.



Şekil 5.2: f vektörünün g vektörüne dik izdüşümü



Şekil 5.3: g vektörünün f vektörüne dik izdüşümü

5.2.2 İzdüşüm teoremi

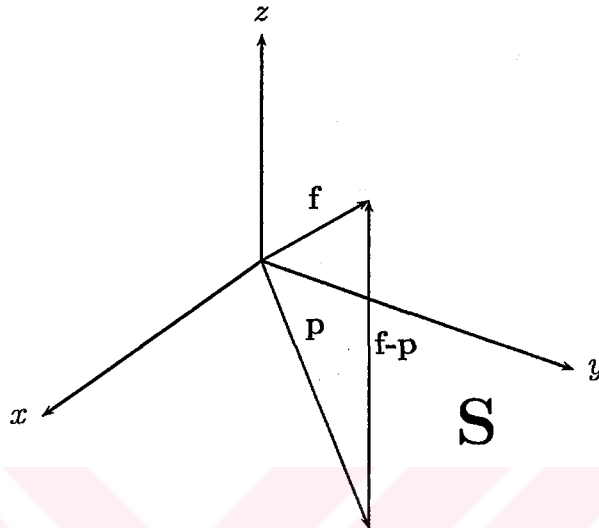
Üç boyutlu uzayda bir nokta ile düzlem arasındaki en kısa mesafe noktadan düzleme inilen bir diktir. Buna analitik geometride izdüşüm teoremi adı verilir.

A nokta, S düzlem, B , A 'nın S düzlemindeki izdüşümü ($(A - B) \perp S$) ve $s \in S$ olmak üzere,

$$s = \sum_i c_i \phi_i \quad (5.19)$$

şeklinde s vektörü formüle edilebilir. Eşitlikteki ϕ , S düzlemini tanımlayan ifadedir. Bu ifade vektörlere genişletilerek f , p , s ve S arasındaki ilişki Şekil

5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4: İzdüşüm teoremi

s eşlenik vektörler arasındaki ilişkiyi temsil eder. Bu bağıntı düzlem yerine düzlem içindeki vektörle ifade edilirse,

$$\mathbf{p} = \sum_i \hat{c}_i \phi_i \quad (5.20)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Düzlem (S) ile en kısa mesafe (\mathbf{p}) birbirine dik olduğundan,

$$\langle \mathbf{f} - \mathbf{p}, \phi_j \rangle = 0 \quad (5.21)$$

eşitliğini sağlaması gerekir. Burada \mathbf{p} yerine yukarıdaki 5.20 eşitliği yazılırsa denklem,

$$\langle \mathbf{f} - \sum_i \hat{c}_i \phi_i, \phi_j \rangle = 0 \quad (5.22)$$

halini alır. Bu denklem,

$$\sum_i \hat{c}_i \langle \phi_i, \phi_j \rangle = \langle \mathbf{f}, \phi_j \rangle \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5.23)$$

şeklinde yeniden yazılabilir.

Bu halde normal denklem matrisi,

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} \langle \phi_1, \phi_1 \rangle & \langle \phi_2, \phi_1 \rangle & \dots & \langle \phi_n, \phi_1 \rangle \\ \langle \phi_1, \phi_2 \rangle & \langle \phi_2, \phi_2 \rangle & \dots & \langle \phi_n, \phi_2 \rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \langle \phi_1, \phi_n \rangle & \langle \phi_2, \phi_n \rangle & \dots & \langle \phi_n, \phi_n \rangle \end{bmatrix}$$

şeklinde olup, lineer denklem sisteminde,

$$\mathbf{N}\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{n} \quad (5.24)$$

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} \langle f, \phi_1 \rangle \\ \langle f, \phi_2 \rangle \\ \vdots \\ \langle f, \phi_n \rangle \end{bmatrix} \quad \hat{\mathbf{c}} = \begin{bmatrix} \hat{c}_1 \\ \hat{c}_2 \\ \vdots \\ \hat{c}_n \end{bmatrix}$$

Matrisleri yardımıyla bilinmeyenler çözülebilir.

Bu denklemde Φ fonksiyonu belirlenebilirse katsayılar da hesaplanabilir. Buna göre Φ ,

$$\Phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n] \quad (5.25)$$

şeklinde ifade edilir. Bu arada $\mathbf{N} = \Phi^T \Phi$ ve $\mathbf{n} = \Phi^T \mathbf{f}$ olduğuna göre bilinmeyenler matrisi,

$$\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{n} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{f} \quad (5.26)$$

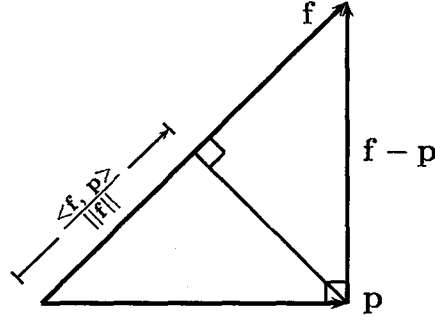
eşitliğiyle bulunur. Bu eşitlik yaklaşık p denkleminde yerine yazıldığında,

$$\mathbf{p} = \Phi \hat{\mathbf{c}} = \sum_i \hat{c}_i \phi_i \quad (5.27)$$

denklemini elde edilir ve artık hata vektörü de,

$$\hat{\mathbf{v}} = \mathbf{f} - \mathbf{p} = \mathbf{f} - \Phi \hat{\mathbf{c}} = \mathbf{f} - \Phi (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \mathbf{f} \quad (5.28)$$

biçiminde formulüze edilir. Bu durumda \hat{v} hata vektörü p vektörüne ve aynı zamanda S düzlemine diktir. Yani hata vektörü S düzlemindeki tüm vektörlere diktir denir. Bununla birlikte izdüşüm teoremi f fonksiyonunu p ve v gibi iki bileşene ayırıştırır.



Şekil 5.5: Spektral analizde ikinci izdüşüm

Spektral analizi uygulayabilmek için yukarıdaki izdüşüm teoreminin bir daha tekrarlanması gerekir. Ama bu işlem öncekine göre biraz daha kolaydır. Bunun için p , f in üzerine yeniden izdüşürülür. Teoremin esası Şekil 5.5 de görülmektedir. Bu izdüşümün uzunluğu,

$$\frac{\langle f, p \rangle}{\|f\|} \quad (5.29)$$

dir. Bu uzunluğun f nin uzunluğuna oranı,

$$\frac{\langle f, p \rangle}{\langle f, f \rangle} = \frac{f^T p}{f^T f} \quad (5.30)$$

bağıntısıyla belirlenir. Bu oran f 'in ne kadarı S düzleminin içerisinde olduğu hakkında bilgi verir. Eğer oran 1 ise f S 'in içerisinde, 0 ise f S 'e diktir denir.

Şimdi bu işlemleri spektral analize uygulayalım. Her spektral frekans ω_j için, Φ fonksiyonu S 'in farklı bir fonksiyonu olsun.

$$\Phi = [\cos \omega_j t, \sin \omega_j t] \quad (5.31)$$

Sonuç olarak; S üzerindeki f 'in dik izdüşümü olan $p(\omega_j)$, her ω_j için farklı değer

alacaktır. Yukarıda tanımlanan oranın özelliği yardımıyla, ω frekansı için f nin en küçük karelerle spektral değeri bu oran olarak seçilebilir ve

$$s(\omega_j) = \frac{\mathbf{f}^T \mathbf{p}(\omega_j)}{\mathbf{f}^T \mathbf{f}} \quad (5.32)$$

şeklinde formulüze edilir. Bunun yanısıra, f 'in en küçük karelerle *spektrumu* ise, istenen tüm ω_j 'lerin spektral değerlerinin bir araya gelmesiyle oluşur.

$$\mathbf{s}(\omega) = s(\omega_j); \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.33)$$

Burada geçen $\omega_j = 2\pi f_i'$ ile ifade edilir. ω değeri istenen değerler olabilir. Fakat f frekansının değerine göre belli bir alt ve üst sınırlar vardır. Alt sınır Nyquist frekans, üst sınır ise 1'dir.

Belirlenen frekans aralığında her açısal frekans için spektral değerler ve ona karşılık gelen spektral yoğunluklar belirlenir. Spektral yoğunluk,

$$SY = \frac{Q_n}{f} \left[\frac{s}{1-s} \right] \quad (5.34)$$

eşitliği ile hesaplanır (Pagiatakis, 2000). Eşitlikte geçen Q_n gürültü bileşenin kuadratik formunu, f ise frekansı temsil eder. Bu yoğunluklardan büyük olanlar periyodikliğin göstergesidir. Buradaki büyüklük ifadesi belli bir güven seviyesi ile anlam kazanır. Bir dizi için güven seviyesi (GS) Pagiatakis (1999)'da yer alan teorem 3 ve teorem 4 le geliştirilen formüller yardımıyla hesaplanabilir.

$$GS = (1 - \alpha^{2/n-u})100 \quad (5.35)$$

Eşitlikte geçen n veri sayısını, u bilinmeyen sayısını ve α anlamlılık seviyesini (significant level) temsil eder. Bu eşitlik kısa zaman dizilerinin (maksimum 150 veri) güven seviyesinin belirlenmesinde kullanılır. Uzun süreçli zaman dizilerinde,

$$GS = (1 + (\alpha^{-2/n-u} - 1)^{-1})^{-1} \quad (5.36)$$

eşitliği kullanılır (Abbasi, 1999). Güven seviyesinin üzerindeki spektrum

değerleri dizi için periyodiklik göstergesidir. Bu aşamadan sonra ters işlem yapılarak spektrum değerlerini belirleyen frekans değerleri bulunur. Bu değerler o dizi için % 95 olasılıkla periyodiktir. Ayrıca Pagiatakis (1999)'da geçen diğer istatistiki testler, jeodezik metodoloji literatüründe kolayca bulunabilir (Vaníček ve Krakiwsky, 1987).

5.3 Bilinen Parametrelerle EKKSA

Girişte de ifade edildiği gibi zaman dizileri sinyal ve gürültü unsurlarından oluşur. Araştırmacılar sinyal kısmının modellenmesiyle uğraşır. Bunun için öncelikle gürültü kısmının ayrıştırılması gerekir. Gürültü bileşeni genel olarak üç değişik formda karşımıza çıkar: Sistematik (periyodik ve periyodik olmayan) ya da rasgele. Rasgele gürültülerin modellenmesi olanaklı değildir.

Her iki durumda (periyodik veya periyodik olmayan durumda) da bilmemiz gereken bir takım şeyler vardır. Gürültünün temel fonksiyonun genel formu $\phi_i(t)$ bilinir. Ama bu fonksiyonun zaman dizisindeki büyüklüğü bilinmez. Bu nedenle değerinin belirlenmesi gerekir. Böylece,

$$f(t) = \sum_i^{NK} c_i \phi_i(t) \quad (5.37)$$

olur.

$$\Phi = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_{NK}, \cos \omega_j t, \sin \omega_j t] \quad (5.38)$$

Formülde geçen ϕ bilinen bileşenler, Φ : ölçüler içindeki tüm bileşenler, NK Bilinen bileşenlerin toplam sayısını ifade eder.

Eğer EKK tahmininde \hat{p} değeri, spektrum değerlendirmeden önce ayrıştırılırsa, hesaplama çok daha hızlı olur. Bu işlem basit olmakla birlikte $f(t)$ fonksiyonu dik izdüşüm olan \hat{p} ve artık kısım olan $f - \hat{p}$ olarak ikiye ayrıştırılır. Sonuçta yeni oluşan zaman dizisi (artık zaman dizisi),

$$v = f - \hat{p} \quad (5.39)$$

elde edilir.

5.4 EKKSA da Kullanılan Bilinen Bileşenlerin Tipi

Yukarıda belirtilen ve de EKKSA'da kullanılacak bileşenlerin neler olduğunu kısaca inceleyelim (Wells vd., 1985).

1. $\phi(t) = K$ gibi sabit sayılar. Verileride oluşan ani değişimleri ifade eder; datum kayıklığı olarak tanımlanır
2. $\phi(t) = t$ Eğer zaman dizisi sürekli olarak yukarı veya aşağı yönde eğilim gösteriyorsa bu bileşenden bahsedilir. Örneğin, su seviyesi zamanla yükselme veya alçalma eğilimi gösteriyorsa (doğrusal eğim) bu bileşen söz konusudur.
3. $\phi_1(t) = \cos \omega_i t$ ve $\phi_2(t) = \sin \omega_i t$ Bilinen bir etken nedeniyle ω_i frekanslı periyodik salınım göstergesi. Örneğin bir zaman dizisinde çevresel etkiden kaynaklanan periyodiklik söz konusu ise ve bu durum önceden biliniyorsa bu frekans etkisi analiz aşamasında modellenenir.
4. $\phi(t) = \text{"Diğer opsiyonlar"}$. Kullanıcı tarafından tanımlanmış fonksiyonlardır. Yukarıda sayılan maddelerden birkaçı aynı anda veya fonksiyonel olarak tanımlanmış başka bir etken olabilir. Örneğin, ölçülerde üstel fonksiyon varlığının önceden biliniyor olması gibi.

Yukarıda sıralan bileşenler kullanıcının analizi yapacağı dizilerin yapısal özelliğine göre bileşen olarak atanır. Analiz aşamasında bu bileşenler modellenerek dizi için değerleri hesaplanır.

6. SAYISAL UYGULAMA

Bir analiz yöntemi olarak EKKSA'nın hangi jeodezik problemlerin çözümünde kullanılabileceği tezin girişinde detaylı olarak tartışılmıştır. Bazı örnekler vermek gerekirse; Vaníček (1969b) tarafından gerçekleştirilen “yerin kutup eksenindeki salınımlarının analizi” isimli çalışma, jeodezideki ilk EKKSA örneklerinden biri olarak kabul edilebilir. Söz konusu çalışmada, gravite değerleri yardımıyla yeryuvarının kutupsal (nodal) hareketinin peryotları belirlenmiştir. Bunun dışında başka jeodezik çalışmalardan da söz edilebilir. Langbein vd. (1990); Langbein ve Johnson (1997) EKKSA'yı deformasyon analizi için elektronik uzunluk ölçerlerle (EDM) yapılan tekrarlı kenar ölçülerine uygulamıştır. Ölçü dizilerindeki farklı sabit zaman aralıkları EKKSA tekniğinin kullanılmasını gerektiren nedenlerden biridir. Yöntemin günümüzde en çok kullanıldığı alanlardan biri ise sürekli GPS zaman dizilerinin analizidir (örn. El-Rabbany, 1994; Zhang vd., 1997). Her iki çalışmada da zaman dizileri test alanındaki deformasyon hareketlerinin belirlenmesi amacıyla analiz edilmiştir.

Bu çalışmada Antalya ve Menteş mareograf istasyonlarına ait saatlik ve bunlardan seyretilmiş iki, üç ve dört saatlik deniz düzeyi verilerinin EKKSA analizi gerçekleştirilecektir.

6.1 Uygulama

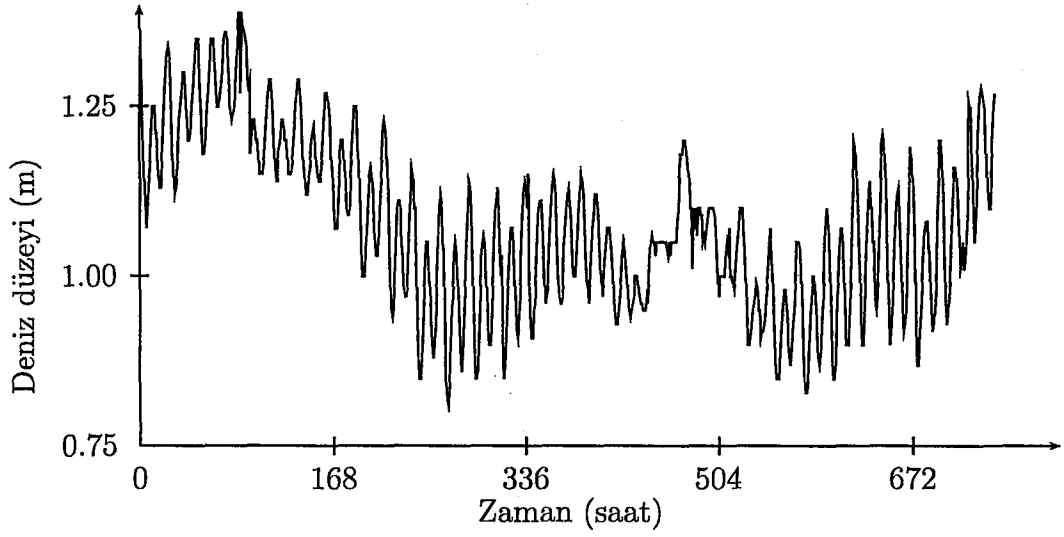
Uygulamada LSSA (Least-Squares Spectral Analysis) yazılımından yararlanılmıştır (Wells vd., 1985). LSSA verilen zaman dizisinin En Küçük Karelerle Spektral Analizini gerçekleştirir. Program ilk olarak 1979 yılında David Wells ve Petr Vaníček tarafından yazılmıştır. Program zamanla yeni uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Yazılımın fortran dilindeki kaynak kodları, ücretsiz olarak internet adresinden elde edilebilir (Craymer, 2005).

Programı (LSSA.exe) çalıştırmadan geçmeden önce komut dosyası (LSSA.cmd) kullanıcının isteğine göre ayarlanır. Bu ayarlama işlemi aşağıdaki bilgilerin girilmesiyle sağlanır. Bunlar;

- veri giriş dosyasının adı,
- veri çıkış dosyasının adı,
- çizim dosyasının adı,
- analiz modu: ardışık(SQNTL), grup(BATCH),
- zaman dizilerinin eşit aralıklı olup olmadığı (EQ:eşit, UN:eşit değil),
- girilen zaman dizisinin çizilip çizilmeyeceği (Y=evet, N=hayır),
- datum kayıklıklarının sayısı ve başlangıç zamanları,
- lineer eğimin olup olmadığı (0=yok, 1=var),
- etkili periyotların sayısı ve değerleri,
- kullanıcının tanımladığı fonksiyona geçiş (0=yok, 1=var),
- listelenen parametreler arasındaki korelasyon ve standart sapmanın seviyesi,
- spektral band, en uzun periyot, en kısa periyot ve hesaplanacak periyot sayısı,

komut dosyasına girilir. Veriler boşluk, virgül veya TAB ile birbirinden ayrılmalıdır. Veri dosyasındaki her bir kayıt yeni bir satırla başlamalıdır. Bu işlemleri yaptıktan sonra LSSA.exe çalıştırılır. Sonuç olarak, başta belirlenen çıkış dosyasına bazı değerler gelir. Bunlar;

- girilen parametrelerin özeti,
- girilen zaman dizisinin çizimi (istenirse),
- bileşenlerin hesaplanan değerleri,
- etkili bileşenler arasında korelasyonlar ve standart sapmalar,



Şekil 6.1: Antalya Mareograf istasyonu 1990 yılı ocak ayı saatlik gözlemleri

- giriş verilerinden bilinen ve hesaplanan bileşenlerin çıkarılmasıyla elde edilen artık zaman dizisi,
- hesaplanan frekans bandında frekanslar ve güven seviyesi,

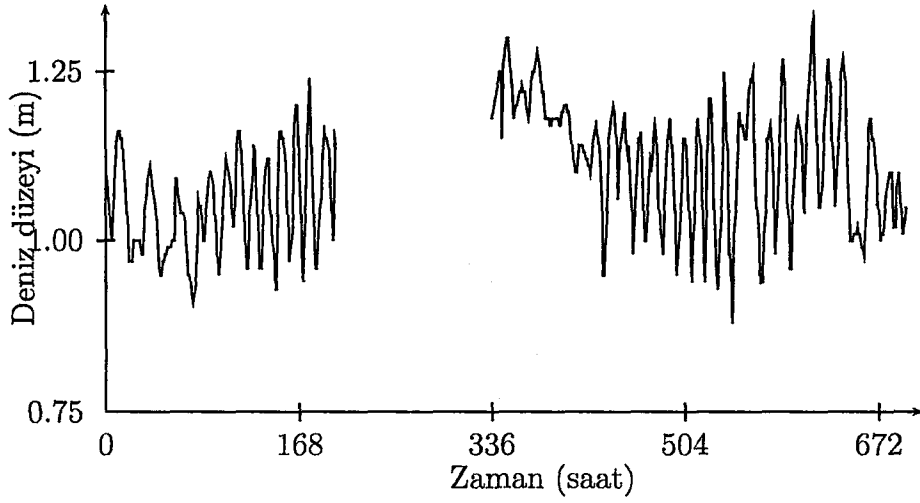
sırasıyla listeler halinde verilir. Program ayrıca çizim dosyası oluşturur. Çizim dosyası hem girilen veri dosyasını hem de hesaplanan spektrum değerini arka arkaya ekrana getirir. Bu dosyanın formatı;

ZAMAN	DİZİ DEĞERLERİ
t_i	t_i 'ye karşılık gelen değer
⋮	⋮

FREKANS	SPEKTRAL DEĞER
f_i	f_i 'ye karşılık gelen spektral değer
⋮	⋮

şeklindedir.

Analiz için Antalya ve Mentеш mareograf istasyonunun 1990 yılı gözlemleri kul-



Şekil 6.2: Antalya Mareograf istasyonu 1990 yılı nisan ayı saatlik gözlemleri

lanılmıştır. Bu gözlemler istasyonların analog kayıt ürettiği döneme ait olduğundan, Harita Genel Komutanlığınca kaba hataları düzeltildikten sonra sayısallaştırılarak analize uygun hale dönüştürülmüştür (HGK, 1991). Veriler öncelikle programının kullanabileceği zaman dizileri haline getirilmiştir. Antalya istasyonuna ait ocak ayı saatlik gözlemler Şekil 6.1 de görülmektedir.

Bir yıllık veri, öncelikle aylık gruplara bölünmüş ve her grup ayrı ayrı analiz işleminden geçirilmiştir. Gözlemler incelendiğinde datum kayıklığı, trend ve eksik gözlemler gibi analizi zorlaştırıcı etmenler mevcuttur (Şekil 6.2).

Analize başlamadan önce uygun frekans aralığının belirlenmesi gerekir. Veri dizisinin toplam uzunluğu, en düşük frekans olarak tanımlanır. Bu frekans aralığı,

$$\Delta f = f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (6.1)$$

eşitliği yardımıyla belirlenir. Buradaki $T_0 = (t_{\text{maks}} - t_{\text{min}})$ temel periyodu, f_0 ise temel frekansı gösterir. Söz konusu zaman dizisinin en yüksek frekansı Nyquist frekans f_N ile ifade edilir. Uygulama verileri saatlik gözlem dizilerini içerdiğinden Nyquist frekans 2 saate karşılık gelir.

Bu ölçütler göz önünde alındığında Antalya istasyonuna ait saatlik değerlerin

Çizelge 6.1: Antalya istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)

Aylar	1. periyot	2. periyot	3. periyot	4 periyot	5.periyot
Ocak	11.98590	12.42387	12.71820	24.00000	
Şubat	11.99325	12.43967	12.77247	24.10287	25.51360
Mart	11.94253	12.40048	12.71504		25.74274
Nisan	12.11573	12.49320	12.82894	23.95857	26.14558
Mayıs	11.94676	12.33039	12.80002	23.86972	25.86153
Haziran	11.95677	12.38516		24.00576	26.13087
Temmuz	12.04878	12.40670		24.04147	25.57495
Ağustos	12.03432	12.42207	12.75398	23.86972	25.97255
Eylül	11.99971	12.40048		23.90145	25.80902
Ekim	11.97680	12.40670	12.70548	23.81301	25.25280
Kasım	12.01409	12.44667	12.77988	23.73171	
Aralık	11.97680	12.42207	12.72161	23.86972	
Kesin D.	11.99929	12.41479	12.75507	23.92400	25.77818

analiz edilmesiyle elde edilen periyotlar Çizelge 6.1 de, Mentеш istasyonuna ait periyot değerleri de Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Periyot gruplarının ortalama değerleri (kesin değerler) dikkate alındığında belirlenen değerlerin bölüm 4.3.1 de anlatılan gel-git olayıyla ilişkili olduğu görülebilir. Birinci periyot güneşin deniz düzeyine yarı günlük çekim etkisi (S2), ikincisi ayın yarı günlük çekim etkisi (M2), üçüncüsü ayın büyük ekliptiki (N2), dördüncüsü güneş ve ayın ortak tam günlük çekim etkisi (K1) ve son olarak temel ay gününün (O1) çekim etkisidir (Çizelge 4.1).

Analiz aşamasında, güvenilirliği çok zayıf olduğundan gel-gitin öteki bileşenleri (K2, P2 ve Q1 periyotları) ortaya çıkarılamamıştır. Bunların yanısıra her iki istasyonun 3. ve 5. periyotları tüm aylar için belirlenememiştir. Bileşenlerin bu denli zor belirlenmesinin temel nedeni istasyonların coğrafi konumlarının günlük hareketin gel-gite en az etkilediği yerde olmasıdır denebilir. Yeryuvarı eksenin eğik oluşu ve güneş etrafında dolandığı yörüngenin bir elips olması bu etkiyi ortaya çıkarır.

Periyot değerlerinin yanısıra her analizde doğrusal eğim değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler olmadığı görülmüştür. Bu durumun oluşmasının en önemli nedeni, yapılan analizde zaman dilimlerinin (1

Çizelge 6.2: Menteş istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)

Aylar	1. periyot	2. periyot	3. periyot	4 periyot	5.periyot
Ocak	12.00000	12.42387	12.71820	23.94366	
Şubat	11.97892	12.40888		23.81659	25.70988
Mart	11.99971	12.44667	12.71504	24.13159	
Nisan		12.35463		23.90145	
Mayıs	12.03432	12.39136		23.92669	25.90543
Haziran	12.05744	12.40048		24.07364	25.54595
Temmuz	12.04878	12.40670	12.75398	24.04147	25.50987
Ağustos	12.07782	12.45293		24.09927	25.77222
Eylül	11.99971	12.41584		23.67566	25.87564
Ekim	11.99113	12.42207		23.98394	
Kasım	11.97105	12.41584		23.78802	
Aralık	11.97680	12.40670	12.70548	23.98394	25.97255
Kesin D.	12.01233	12.41216	12.72318	23.94716	25.75593

Çizelge 6.3: Antalya istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	11.99929	12.00000	0.00071	0.01416	0.05	2.20	Kabul
2.	12.41479	12.42060	0.00581	0.01118	0.52	2.20	Kabul
3.	12.75507	12.65840	0.09667	0.01440	6.71	2.30	Red
4.	23.92400	23.93440	0.01040	0.03277	0.33	2.23	Kabul
5.	25.77818	25.81940	0.04122	0.09815	0.42	2.31	Kabul

aylık) çok kısa seçilmesidir. Yani uzun periyotlu etkiler nedeniyle doğrusal eğim farklılık göstermektedir. Ama şu gerçektir ki dördüncü bölümde de anlatıldığı gibi deniz düzeyi sürekli olarak doğrusal eğim meydana getirir. Bu çalışmada zorunlu olarak uzun periyotlu hareketlerle doğrusal eğim birbirine karışmıştır.

6.2 Saatlik Değerlerle Edinilen Sonuçların Testi

Analiz sonucunda deniz düzeyi hareketlerinin öz periyotları belirlenmiştir. Bu periyotların gel-git bileşenleriyle tutarlı olması beklenir. Bu nedenle elde edilen sonuçlarla astronomik değerlerin uyumlu olup olmadığının t (student) testiyle kontrol edilmesi gerekir. Buna göre,

Antalya ve Menteş istasyonları saatlik verilerin analiz sonucunda elde edilen

Çizelge 6.4: Mentеш istasyonu saatlik gözlemlerden edinilen değerlerin testi

peryot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.01233	12.00000	0.01233	0.01093	1.13	2.23	Kabul
2.	12.41216	12.42060	0.00844	0.00732	1.15	2.20	Kabul
3.	12.72318	12.65840	0.06477	0.01062	6.10	3.18	Red
4.	23.94716	23.93440	0.01276	0.03925	0.32	2.20	Kabul
5.	25.75593	25.81940	0.06347	0.06737	0.94	2.45	Kabul

değerlerin testi yukarıdaki çizelgelerde görülmektedir. Çizelgelerden anlaşılacağı üzere her iki istasyonda da 3. periyot hariç hesaplanan değerler beklenen değerler olarak karşımıza çıkmaktadır.

6.3 Gözlemlerin Seyreltilmesi

Önceki alt bölümde Antalya ve Mentеш istasyonları saatlik verilerinin analizi yapılmıştı. Bir aylık süreçte saatlik gözlemler ortalama 700 veri demektir. Bu denli uzun verinin analizi oldukça zaman alıcı ve yorucu işlem gerektirir. Bu nedenle verilerin seyreltilmesi gerekli görülebilir. Yine aynı veriler kullanılarak iki, üç ve dört saatlik veriler haline getirilmesi işlemleri kolaylaştıracaktır. Buna göre elde edilen yeni veriler için benzer şekilde değişiklikler yapılarak analiz edildiğinde aşağıdaki değerlere ulaşılmıştır.

Aşağıdaki çizelgelerden anlaşılacağı üzere her iki istasyonda da seyreltilen veriler yardımıyla hesaplanan değerler yine üçüncü periyot hariç beklenen değerler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ta ki seyreltme miktarı Nyquist frekansı aşana kadar. Örneğin 7 saatlik gözlemlerle ancak 14 saatlik ve üzeri periyotlar belirlenebilir.

Çizelge 6.5: Antalya ist. 2 saatlik gözlemlerden edinilen peryotlar (sa)

Aylar	1. peryot	2. peryot	3. peryot	4 peryot	5.peryot
Ocak	11.99177	12.41378	12.72005	23.97319	
Şubat	11.99893	12.42913		24.00181	
Mart	11.94902	12.39083	12.68795		25.78719
Nisan	12.12191	12.49090	12.83372	23.94465	26.12221
Mayıs	11.95612	12.33761		23.85941	25.88679
Haziran	11.97749	12.38320	12.76042		26.08832
Temmuz	12.05649	12.40612		24.00181	25.62289
Ağustos	12.04926	12.40612		24.03050	25.55775
Eylül	11.98463	12.39847		23.83113	25.78719
Ekim	11.96323	12.41378	12.68795	23.80291	
Kasım	12.01327	12.45222	12.77663		25.78719
Aralık	11.98463	12.42145	12.72005	23.85941	
Kesin D.	12.00390	12.41197	12.74097	23.92276	25.82994

Çizelge 6.6: Antalya ist. 3 saatlik gözlemlerden edinilen peryotlar (sa)

Aylar	1. peryot	2. peryot	3. peryot	4 peryot	5.peryot
Ocak	11.98761	12.42080	12.72385	23.98273	
Şubat	12.00188	12.43101	12.76143	24.00176	
Mart	11.94972	12.39535	12.69714		25.78162
Nisan	12.11727	12.48746	12.83180	23.98273	26.13808
Mayıs	11.94500	12.33469	12.83180	23.83156	25.89197
Haziran	11.96390	12.38013	12.74529		
Temmuz	12.05930	12.41061		23.98273	25.69402
Ağustos	12.03052	12.41570	12.75067	23.85035	25.86982
Eylül	11.97812	12.39027	12.89746	23.86917	25.84771
Ekim	11.96390	12.40552	12.69181	23.75669	
Kasım	12.01141	12.44636	12.77760		
Aralık	11.98286	12.43101	12.72385	23.85035	
Kesin D.	11.99929	12.41241	12.76661	23.90090	25.87054

Çizelge 6.7: Antalya ist. 4 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)

Aylar	1. periyot	2. periyot	3. periyot	4 periyot	5.periyot
Ocak	11.99552	12.42290	12.72783	23.99259	
Şubat	11.99196	12.43054	12.76398	24.00683	
Mart	11.94944	12.38866	12.69188		25.83136
Nisan	12.12134	12.49197	12.82875	23.93580	26.13177
Mayıs	11.95651	12.33576	12.71582	23.86518	25.91412
Haziran		12.38866		24.04966	26.08122
Temmuz	12.06709	12.40766		24.00683	25.65116
Ağustos	12.05271	12.41909	12.73986	23.89338	25.91412
Eylül	11.97421	12.40005	12.89830	23.83705	25.73276
Ekim	11.97066	12.41147	12.69188	23.76702	
Kasım	12.01690	12.45734			25.83136
Aralık	11.97421	12.42290	12.71982	23.82301	
Kesin D.	12.00641	12.41475	12.75312	23.91774	25.88598

Çizelge 6.8: Menteş ist. 2 saatlik gözlemlerden edinilen periyotlar (sa)

Aylar	1. periyot	2. periyot	3. periyot	4 periyot	5.periyot
Ocak	11.99893	12.42145	12.72005	23.94465	
Şubat	11.98561	12.40706		23.80076	25.68532
Mart	11.99794	12.44342	12.71087	24.08307	
Nisan					
Mayıs	12.03851	12.40242		23.90580	25.87498
Haziran	12.05548	12.41270		24.08307	25.61716
Temmuz	12.05295	12.41775	12.75656	24.04879	25.54618
Ağustos	12.07466	12.44850		24.07759	25.80854
Eylül	12.00510	12.41270			25.88094
Ekim	11.98112	12.43310		24.02005	
Kasım	11.96937	12.41270		23.79804	
Aralık	11.98112	12.40242	12.70015	23.96279	25.94175
Kesin D.	12.01280	12.41947	12.72191	23.97246	25.76498

Çizelge 6.9: Mentеш ist. 3 saatlik gözlemlerden edinilen peryotlar (sa)

Aylar	1. peryot	2. peryot	3. peryot	4. peryot	5. peryot
Ocak	12.00188	12.41570	12.71315	23.92581	
Şubat	11.98761	12.41061		23.81280	25.69402
Mart	11.99712	12.43612	12.71315		25.95863
Nisan					
Mayıs	12.06411	12.40043		23.90690	25.84771
Haziran	12.05930	12.41061		24.05903	25.56372
Temmuz	12.04969	12.41061	12.75067	24.02082	25.52059
Ağustos	12.07856	12.45661		24.11658	25.82564
Eylül	12.00664	12.41570			25.84771
Ekim	11.99236	12.42080		24.07818	
Kasım	11.96864	12.41570		23.79406	
Aralık	11.98286	12.40552	12.70247	23.98273	25.98092
Kesin D.	12.01716	12.41804	12.71986	23.96632	25.77987

Çizelge 6.10: Mentеш ist. 4 saatlik gözlemlerden edinilen peryotlar (sa)

Aylar	1. peryot	2. peryot	3. peryot	4 peryot	5.peryot
Ocak	11.99552	12.41909	12.71582	23.93580	
Şubat	11.98840	12.41147		23.79498	25.66744
Mart	11.99552	12.44201			
Nisan	11.97775	12.36215	12.67200	23.85111	26.01412
Mayıs	12.03478	12.39625		23.89338	25.84787
Haziran	12.05271	12.41528	12.60486	24.06397	25.57008
Temmuz	12.04194	12.41909		24.07829	25.61866
Ağustos	12.08151	12.44967		24.04966	25.83136
Eylül	12.00620	12.39245			25.96402
Ekim	11.97421	12.44967		23.93580	
Kasım	11.97421	12.41528	12.71183		
Aralık	11.98485	12.40385		23.94997	
Kesin D.	12.00897	12.41469	12.67613	23.95033	25.78765

Çizelge 6.11: Antalya ist. 2 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.00390	12.00000	0.00390	0.01441	0.27	2.20	Kabul
2.	12.41197	12.42060	0.00863	0.01076	0.80	2.20	Kabul
3.	12.74097	12.65840	0.08257	0.01997	4.13	2.44	Red
4.	23.92276	23.93440	0.01164	0.02836	0.41	2.30	Kabul
5.	25.82994	25.81940	0.01054	0.07044	0.15	2.36	Kabul

Çizelge 6.12: Antalya ist. 3 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	11.99929	12.00000	0.00071	0.01441	0.05	2.20	Kabul
2.	12.41241	12.42060	0.00819	0.01083	0.76	2.20	Kabul
3.	12.76661	12.65840	0.10821	0.01954	5.54	2.22	Red
4.	23.90090	23.93440	0.03350	0.03046	1.10	2.30	Kabul
5.	25.87054	25.81940	0.05114	0.07367	0.69	2.57	Kabul

Çizelge 6.13: Antalya ist. 4 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.00641	12.00000	0.00641	0.01611	0.40	2.20	Kabul
2.	12.41475	12.42060	0.00585	0.01103	0.53	2.20	Kabul
3.	12.75312	12.65840	0.09472	0.02289	4.13	2.30	Red
4.	23.91774	23.93440	0.01666	0.02966	0.56	2.31	Kabul
5.	25.88598	25.81940	0.06658	0.05743	1.16	2.36	Kabul

Çizelge 6.14: Menteş ist. 2 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.01280	12.00000	0.01280	0.01088	1.18	2.23	Kabul
2.	12.41947	12.42060	0.00113	0.01575	0.24	2.23	Kabul
3.	12.72191	12.65840	0.03806	0.01225	5.19	2.30	Red
4.	23.97246	23.93440	0.03806	0.03477	1.09	2.20	Kabul
5.	25.76498	25.81940	0.05442	0.05664	0.96	2.45	Kabul

Çizelge 6.15: Menteş ist. 3 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.01716	12.00000	0.01716	0.01161	1.48	2.23	Kabul
2.	12.41804	12.42060	0.00256	0.00474	0.54	2.23	Kabul
3.	12.71986	12.65840	0.06146	0.01057	5.81	3.18	Red
4.	23.96632	23.93440	0.03192	0.03835	0.79	2.31	Kabul
5.	25.77987	25.81940	0.03953	0.06050	0.65	2.36	Kabul

Çizelge 6.16: Mentеш ist. 4 saatlik gözlemlerden elde edilen değerlerin testi

periyot	Kesin d.	Gerçek d.	Fark	m_x	t_{hesap}	t_{tablo}	Açıklama
1.	12.00897	12.00000	0.00897	0.01019	0.88	2.20	Kabul
2.	12.41469	12.42060	0.00591	0.00726	0.81	2.20	Kabul
3.	12.67613	12.65840	0.01773	0.02573	0.69	3.18	Kabul
4.	23.95033	23.93440	0.01593	0.03266	0.49	2.31	Kabul
5.	25.78765	25.81940	0.03175	0.06515	0.49	2.44	Kabul

7. SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada deniz düzeyi gözlemlerinin En Küçük Karelerle Spektral Analiz konusu ele alınmış, temel teori ve kavramlar her bölümde ayrı ayrı açıklanmıştır. EKKSA teorisini güçlendirmek için sayısal uygulamalar da yapılmıştır. Dolayısıyla değişik disiplinlerde olduğu gibi EKKSA'nın zamana ve konuma bağlı jeodezik gözlemlerin analizinde de güçlü bir matematiksel araç olduğu görülmektedir. Bu araç gözlemlerin analizine sadece matematiksel açıdan değil, aynı zamanda fiziksel açıdan da bakılmasını sağlamaktadır.

Deniz düzeyi gözlemleri diğer deneysel diziler gibi, trend, boşluk, ani yükselme, atmosferik ve deprem etkileri gibi bozucu gürültülere sahiptir. En önemlisi deniz düzeyi gözlemleri çeşitli fiziksel süreçleri (atmosferik ve hidrolojik olayları), gel-git ve rasgele süreçleri içerir. Dolayısıyla bu tür gürültülere ve süreçlere sahip deniz düzeyi gözlemlerinin analizi yapılmıştır.

Analiz işleminde Antalya ve Menteş mareograf istasyonunun 1990 yılı saatlik gözlemleri kullanılmıştır. Analiz sonucunda istasyonlar bölgesinde gel-git nedeniyle oluşan 5 adet gizli periyodiklik belirlenmiştir. Elde edilen değerlerin astronomik gel-git değerleriyle uyumlu olup olmadığı test edilmiştir. Testler sonucunda biri hariç diğer tüm bileşenler uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Böylece her iki istasyon bölgesinde de deniz düzeyine etkiyen gel-git bileşenleri yeterli güvenilirlikte (% 95 olasılıkla) belirlenmiştir. Diğer bileşenlerin belirlenmemesinin nedeni istasyonların dünya üzerindeki coğrafi konumunun söz konusu bileşenleri algılamaya uygun olmamasıdır.

Şimdiye kadar geleneksel yöntemlerdeki olumsuzluklara (boşluklu, eşit olmayan veri aralıklı kayıtları) yeniden düzenleme yoluyla çözüm bulunabiliyordu. Aslında bu müdahale işlemi, zaman dizilerini analize çok daha uygun hale getirebilir.

Fakat bu işlem dizideki faydalı bilgilerin silinmesine ve yapay sinyallerin elde edilmesiyle de sonuçlanabilir. EKKSA ise editlemeye ve filtrelemeye gerek duymaksızın deneysel dizilere direkt uygulanabilir.

7.2 Öneriler

EKKSA yöntemi yukarıda bahsedilen zorunlulukları ve olumsuzlukları ortadan kaldırdığı için diğer yöntemlere göre daha kullanışlıdır. Deniz düzeyi gibi zaman dizilerinin analizinde kullanılması yararlı olacaktır. Ayrıca sayısal analize daha uygun olduğu için EKKSA, farklı ağırlıklı dizi gruplarına sahip ve özel bileşenleri bulunduran verilerin analizinde güçlü bir yöntemdir.

EKKSA'nın bazı kolaylıklarına karşın bazı dezavantajları da vardır. EKKSA algoritması, FFT'ye göre karşılaştırıldığında daha yavaştır. Ancak işlevsellik açısından ele alındığında benzer sayısal dönüşümlerin en iyisidir. Buna karşın hızlı Fourier dönüşümüne benzer hızlı En küçük Kareler Dönüşümünü geliştirmek mümkün olabilir. Dolayısıyla analistlerin sonraki çalışmalarda bu analiz yöntemini kullanarak beklentilerinin karşılanacağı kanısındayım.

Son olarak; bu çalışmada EKKSA yöntemi, tek boyutlu problemlerin çözümü için geliştirildi. Sonraki çalışmalarda çok boyutlu problemlerin çözümü için çok boyutlu analiz algoritmasının geliştirilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

- Abbasi, M. (1999). Comparision of fourier, least squares and wavelet spectral analysis methods test on persion gulf tidal data. Master's thesis, Surveying Engineering Department, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
- Ainscow, B., Blackman, D., Kerrigde, J., Pugh, D., ve Shaw, S. (1985). *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation I*. UNESCO.
- Brillinger, D. (2002). John W. Tukey's work on time series and spectrum analysis. *The Annuals of Statistics*, Volume: 30:1595-1618.
- Buttkus, B. (2000). *Spectral Analysis and Filter Theory in Applied Geophysics*. Springer, 2 edition.
- Chatfield, C. (1989). *Analysis of Time Series*. Chapman-Hall Book Company, 4th edition.
- Craymer, M. (2005). On-Line Geodesy Resources. World Wide Web, <http://www.geocities.com/mikecraymer/geodesy.html>.
- Craymer, M. R. (1998). *The Least Squares Spectrum, Its Inverse Transform and Autocorrelation Function: Theory and Applicaitons in Geodesy*. PhD thesis, Graduate Department of Civil Engineering, University of Toronto.
- Delikaraoglou, D. (1984). Adjustment and Filtering of the SEASAT Altimetry with the Least Squares Response Technique. *Marine Geophysical Researches*, Volume: 7.
- El-Rabbany, A. S. (1994). The Effect of Physical Correlations on the Ambiguity Resolution and Accuracy Estimation in GPS Differential Positioning. Technical report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Frederiction.
- Ersoy, O. K. (1997). *Fourier-Related Transforms Fast Algoithms & Applications*. Prentice Hall PTR, Purdue University. 515 pages.
- Gasquet, C. ve Witomski, P. (1998). *Fourier Analysis and Applications*. Springer-Verlag.
- Gürdal, M. A. (2002). Deniz Seviyesi Değişimlerine Neden Olan Etkiler. *Harita Dergisi*, Sayı: 127.
- Hekimoğlu, Ş. (1981). Rastgele Süreçler. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yer Bilimleri Fakültesi.
- HGK (1991). Erdek, Menteş/Izmir, Bodrum, Antalya Mareograf stasyonları 1990 yılı Saatlik Deniz Seviyesi Değerleri. Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

- Jekeli, C. (1997). *Fourier Geodesy*. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science.
- Langbein, J. O., Burford, R. O., ve Slater, L. E. (1990). Variations in Fault Slip and Strain Accumulation at Parkfield, California: Initial Results Using Two Color Geodimetry Measurements, 1984-88. *Journal of Geophysical Research*, Volume: 95:2533-2552.
- Langbein, J. O. ve Johnson, H. (1997). Correlated Errors in Geodetic Time Series: Implications for the Time-Dependent Deformation. *Journal of Geophysical Research*, Volume: 102:591-603.
- Maul, G. A. ve Yanaway, A. (1978). Deep Sea Tides Determination from GEOS 3. Technical report, NOAA Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories, Miami, Florida. NASA Contract Report No: 1414351.
- Omerbashich, M. (2003). *Earth-Model Discrimination Method*. PhD thesis, Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick.
- Onselen, K. I. (2000). *The Influence of Data Quality on The Detectability of Sea-Level Height Variations*. PhD thesis, Department of Geomatics Engineering, Delft University.
- Pagiatakis, S. D. (1999). Stochastic Significance of Peaks in the Least-Squares Spectrum. *Journal of Geodesy*, pages 67-78.
- Pagiatakis, S. D. (2000). Application of the Least-Squares Spectral Analysis to Superconducting Gravimeter Data Treatment and Analysis. *ECGS*.
- Sanli, D. U. ve Blewitt, G. (2001). Geocentric Sea Level Trend Using GPS and 100-year Tide Gauge Record on a Postglacial Rebund Nodal Line. *Journal of Geophysical research*, 106:713-719.
- Smith, S. W. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Precessing*. California Technical University Publishing, San Diego, California.
- Stewart, R. H. (2004). *Physical Oceanography*. Department of Oceanography Texas A & M University. http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook.
- Taylor, J. ve Hamilton, S. (1972). Some Tests of the Vanicek Method of Spectral Analysis. *Astrophysics and Space Science, International Journal os Cosmic Physics*.
- Vaníček, P. (1969a). Approximate Spectral Analysis by Least Squares Fit. *Astrophysics Space Science*, Volume: 4:387-391.
- Vaníček, P. (1969b). New Analysis of The Earth Pole Wobble. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Volume: 13:225-230.
- Vaníček, P. (1971). Further Development and Properties of The Spectral Analysis by Least Squares. *Astrophysics Space Science*, Volume: 12:10-33.

- Vaníček, P. ve Krakiwsky, E. (1987). *Geodesy: The Concepts*. Elsevier Science Publishers B.V., second edition.
- Vergos, G. S. (2002). *Sea Surface Topography, Bathymetry and Marine Gravity Field Modelling*. PhD thesis, Graduate Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
- Wells, D. E., Vaníček, P., ve Pagiatakis, S. D. (1985). Least Squares Spectral Analysis revisited. Technical Report 84, Geodesy and Geomatics Engineering, UNB.
- Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M. A., Akabalı, O. A., Demirkol, E. O., Ayhan, M. E., ve Türkoğlu, Y. (2003). Antalya-2, Bodrum-2, Erdek ve Menteş Mareograf istasyonlarına ait 1984-2002 Yılları Arası Deniz Seviyesi ve Jeodezik Ölçülerin Değerlendirilmesi. *Harita Dergisi*, özel sayı:17.
- Zhang, J., Bock, Y., Johnson, H., Fang, P., Genrich, J., Williams, S., Wdowinski, S., ve Behr, J. (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Error Analysis of Daily Position Estimates and Site Velocities. *Journal of Geophysical Research*, Volume: 102:18-55.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.01.1981	
Doğum yeri	Tarsus	
Lise	1994-1998	Anadolu Tapu Kadastro Meslek Lisesi, Ankara
Lisans	1998-2002	Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Konya
Çalıştığı kurum	2002- ...	S. Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Araştırma Görevlisi

