

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİYLE SIĞ YERALTI YAPILARIN
İNCELENMESİ**

İREM BAYSAL

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2021

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİYLE SIĞ YERALTI YAPILARIN İNCELENMESİ

İrem BAYSAL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ünal DİKMEN

Bu tez çalışmasında, zaman-frekans dönüşümlerinden Stockwell (S) dönüşümü kullanılarak sığ yer altı yapılarının geometrik özellikleri kestirilmeye çalışılmıştır. S-dönüşümü iki-boyutlu verilere uygun olacak şekilde kodlanmış ve yeraltı yapıların geometrik özelliklerini belirlemedeki performansı önce sentetik gravite modeli üzerinde test edilmiş daha sonra Malatya-Elâzığ bölgesine ait uydu verisinden hesaplanmış serbest hava gravite anomalisi verisine uygulanmış ve anomalilerin konumları kestirilmeye çalışılmıştır.

Şubat 2021, 48 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kısa Süreli Fourier Dönüşümü, Gabor Dönüşümü, Dalgacık Dönüşümü, S-Dönüşümü, jeofizik veri, görüntü işleme

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS OF NEAR SURFACE STRUCTURES BY TIME-FREQUENCY TRANSFORMATIONS

İrem BAYSAL

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ünal DİKMEN

In this thesis, geometric properties of shallow subterranean structures were determined using S-transform one of the time-frequency transformations. S-transform are coded appropriately for two dimensional data and its performance in determining the geometric properties of shallow subsurface structures was first tested on a synthetic gravity model and then applied to free air gravity data calculated from satellite data of Malatya-Elâzığ region, and the locations of the anomalies were determined.

February 2021, 48 pages

Key Words: Short Time Fourier Transform, Gabor Transform, Wavelet Transform, S-Transform, geophysical data, image processing

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans tezlerimin tüm süreçlerinde hep daha iyisini yapmam için beni motive eden, araştırmalarımın her aşamasında tecrübe ve önerileri ile katkılarını sunan, değerli zamanını ve desteğini benden esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Ünal DİKMEN' e teşekkürlerimi sunarım.

Akademik ve mesleki birikimleri ile destek ve önerilerini eksik etmeyen değerli arkadaşım Erhan ERGUN (DSİ)' e teşekkürlerimi sunarım.

Kurucusu olduğu Lares Mühendislik ve Yer Bilimleri LTD. bünyesinde birlikte çalıştığım, bana olan desteğini ve anlayışını her zaman hissettiğim ve bilgi birikimiyle bana yol gösteren değerli dostum Seçkin Sertaç LALLI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, beni her zaman motive eden yakın arkadaşlarıma ve hayatımın tüm dönemlerinde sevgi ve desteğini esirgemeyen, beni yetiştiren, en büyük ilham kaynağım anneme ve babama maddi ve manevi destekleri için en derin teşekkürlerimi sunarım.

İrem BAYSAL

Ankara, Şubat 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1 Kısa Süreli Fourier Dönüşümü	4
2.2 Gabor Dönüşümü	8
2.3 Dalgacık Dönüşümü	10
2.4 S-Dönüşümü.....	15
2.4.1 S-dönüşümünün genel özellikleri.....	18
2.4.2 Gauss penceresi	19
3. ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİNİN UYGULANMASI.....	21
3.1 Sentetik Model Üzerinde Zaman-Frekans Dönüşümlerinin Test Edilmesi.....	22
3.2 S-Dönüşümünün Gerçek Veriye Uygulanması.....	31
4. SONUÇLAR VE YORUM	37
4.1 Sentetik Model Verilerinin Yorumu.....	38
4.2 Gerçek Arazi Verilerinin Yorumu	40
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ.....	48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

β	Dönüşümü alınacak veri/giriş fonksiyonu
X	Koordinat düzleminde x eksen
y	Koordinat düzleminde y eksen
f	Frekans
t	Zaman
τ	Zamandaki kayma miktarı
τ_x	X eksenindeki kayma miktarı
τ_y	Y eksenindeki kayma miktarı
k_x	X yönü dalgasayısı
k_y	Y yönü dalgasayısı
dx	X yönü adım aralığı
dy	Y yönü adım aralığı
d_{Kx}	X yönü dalgasayısı örnekleme aralığı
d_{Ky}	Y yönü dalgasayısı örnekleme aralığı
N	X yönü veri sayısı
M	Y yönü veri sayısı
a_x	X yönü skala parametresi
a_y	Y yönü skala parametresi
j	Karmaşık sayı i' nin sembolik gösterimi
ϕ	Faz spektrumu
σ	Gaussian fonksiyonun standart sapması
π	Pi sayısı
α	Frekans eksenindeki kayma miktarı
$\Re$	Gerçek bileşen
$\Im$	Sanal bileşen

Kısaltmalar

2B	İki-boyut
3B	Üç-boyut
4B	Dört-boyut
D	Doğru
DD	Dalgacık dönüşümü
<i>DFT</i>	Ayrık Fourier dönüşümü
<i>DGT</i>	Ayrık Gabor dönüşümü
<i>DSTFT</i>	Ayrık kısa süreli Fourier dönüşümü
<i>DST</i>	Ayrık S-dönüşümü
<i>DWT</i>	Ayrık dalgacık dönüşümü
GD	Gabor dönüşümü
<i>GT</i>	Gabor dönüşümü
Hz	Hertz
<i>IGT</i>	Ters Gabor dönüşümü
<i>IST</i>	Ters S-dönüşümü
<i>ISTFT</i>	Ters kısa süreli Fourier dönüşümü
<i>IWT</i>	Ters dalgacık dönüşümü

<i>K</i>	Kuzey
<i>KSFD</i>	Kısa süreli Fourier dönüşümü
<i>km</i>	Kilometre
<i>s</i>	Saniye
<i>ST</i>	S-dönüşümü
<i>STFT</i>	Kısa süreli Fourier dönüşümü
<i>SD</i>	S-dönüşümü
<i>WT</i>	Dalgacık dönüşümü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 a) Dört farklı sinüzoidal toplamından oluşan birinci zaman serisi, b) birinci zaman serisinde kullanılan frekanslardan oluşturulan ikinci zaman serisi c) birinci zaman serisinin Fourier genlik spektrumu, d) ikinci zaman serisinin Fourier genlik spektrumu	2
Şekil 1.2 a) Birinci örnek zaman serisi, b) ikinci örnek zaman serisi, c) birinci örnek zaman serisinin zaman-frekans (Gabor) dönüşümü, d) ikinci örnek zaman serisinin zaman-frekans (Gabor) dönüşümü	3
Şekil 2.1 Zaman ve frekans bölgesi adım aralıklarına göre kısa süreli Fourier dönüşümünün çözünürlük ilişkisinin şematik gösterimi. (Δf : frekans bölgesindeki adım aralığı, Δt : zaman bölgesindeki adım aralığı)	5
Şekil 2.2 Yukarıdan aşağıya, a) Örnek zaman ortamı sinyali, b) 0.08 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü, c) 0.16 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü, d) 0.32 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, $fN = 500 \text{ Hz}$)	6
Şekil 2.3 Örnek zaman ortamı sinyaline ait a) 0.08 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü, b) 0.16 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü, c) 0.32 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, $fN = 500 \text{ Hz}$)	9
Şekil 2.4 Zaman ve frekans bölgesi adım aralıklarına göre dalgacık dönüşümünün çözünürlük ilişkisinin şematik gösterimi	11
Şekil 2.5 Dalgacığın şekil 2.4 ile gösterilen alanlarda dalgacığın aldığı formlar	11
Şekil 2.6 Dalgacık dönüşümünde sıkça kullanılan bazı dalgacık tipleri sırasıyla a) Morlet dalgacığı, b) Daubechies45 dalgacığı, c) Haar dalgacığı, d) Meksika şapkası (Mexican Hat) dalgacığı.....	13
Şekil 2.7 Farklı dalgacık tiplerine göre sentetik sismogram sinyalinin dalgacık dönüşümleri: a) Daubechies-45 dalgacığı kullanılarak hesaplanan dalgacık dönüşümü görüntüsü, b) Morlet dalgacığı kullanılarak hesaplanan dalgacık dönüşümü görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, pencere süresi 0.16 s ve $fN = 500 \text{ Hz}$).....	14
Şekil 2.8 Gauss penceresinin kanatlarının <i>factor</i> ve frekansa bağlı değişimi.	20
Şekil 2.9 Gauss penceresinin Fourier dönüşümü sonrası formu (Başokur 2007).....	20

Şekil 3.1 3B ve 4B cisimlerin birer yönlerinin sabit tutularak görüntülenmesine dair sembolik gösterim	21
Şekil 3.2 $TF_{12,12,12,12}$ şeklinde bir dizey için elde edilecek görüntülerin şematik gösterimi; a) 3B görüntüler, b) 2B görüntüler	22
Şekil 3.3 İki boyutlu zaman-frekans dönüşümlerinde kullanılacak sentetik gravite modelin; a) perspektif görüntüsü, b) plan görüntüsü ve c) model verisi	22
Şekil 3.4 Sentetik gravite modelinin $x = 10$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	24
Şekil 3.5 Sentetik gravite modelinin $y = 10$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	25
Şekil 3.6 Sentetik gravite modelinin $x = 25$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	26
Şekil 3.7 Sentetik gravite modelinin $y = 25$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	26
Şekil 3.8 Sentetik gravite modelinin $x = 50$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	27
Şekil 3.9 Sentetik gravite modelinin $y = 50$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	27
Şekil 3.10 Sentetik gravite modelinin $x = 75$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	28
Şekil 3.11 Sentetik gravite modelinin $y = 75$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü	29

- Şekil 3.12 Sentetik gravite modelinin $x = 90$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü29
- Şekil 3.13 Sentetik gravite modelinin $y = 90$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü 30
- Şekil 3.14 $Kx = Ky = 0.5$ için sentetik gravite modelinin $x - y$ ortamı görüntüleri; a)kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü (KSFD), b) Dalgacık dönüşümü görüntüsü (DD), c) Gabor dönüşümü görüntüsü (GD), d) S-dönüşümü görüntüsü (SD).....31
- Şekil 3.15 a) Malatya-Elâzığ bölgesi serbest hava anomalisi haritası, b) Arazi verilerinin zaman-frekans dönüşümleri kullanılarak incelenecek bölgelerin numaralandırılması.....32
- Şekil 3.16 2. bölgenin *Boylam* = 38.925 ve *Enlem* = 38.1213 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü33
- Şekil 3.17 3. bölgenin *Boylam* = 38.3917 ve *Enlem* = 38.1999 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü34
- Şekil 3.18 4. bölgenin *Boylam* = 38.7417 ve *Enlem* = 38.3046 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü35
- Şekil 3.19 5. bölgenin *Boylam* = 39.2583 ve *Enlem* = 38.3831 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü 35
- Şekil 3.20 7. bölgenin *Boylam* = 39.6417 ve *Enlem* = 38.5266 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü 36

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 1 nolu yapı bilgileri	38
Çizelge 4.2 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 2 nolu yapı bilgileri	38
Çizelge 4.3 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 3 nolu yapı bilgileri	39
Çizelge 4.4 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 4 nolu yapı bilgileri	39
Çizelge 4.5 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 5 nolu yapı bilgileri	40
Çizelge 4.6 Zaman – frekans dönüşümlerine göre 6 nolu yapı bilgileri	40
Çizelge 4.7 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 2. bölgeye ait bilgiler.....	41
Çizelge 4.8 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 3. bölgeye ait bilgiler.....	41
Çizelge 4.9 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 4. bölgeye ait bilgiler.....	42
Çizelge 4.10 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 5. bölgeye ait bilgiler.....	42
Çizelge 4.11 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 7. bölgeye ait bilgiler.....	43

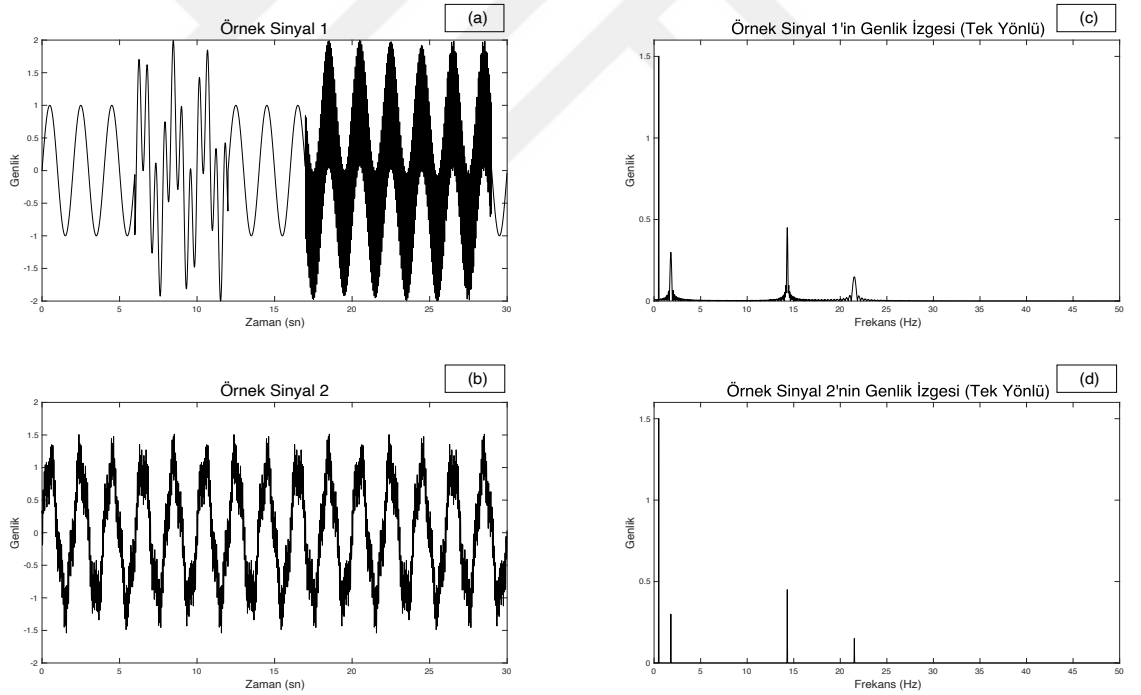
1. GİRİŞ

Jeofizik mühendisliğinde zamansal ve/veya uzamsal bir bağımsız değişkene bağlı ölçülebilen nicelikler veriyi oluşturur. Ölçülen veride, çoğu durumda belirtiyi neden olan ve sinyal diyebileceğimiz kısım ile birlikte istenmeyen ve veriden atılması gerektiği düşünülen gürültü adı verilen bileşenler de bulunur. Gürültünün veriden uzaklaştırılması (örn. frekans ortamı süzgeçleme gibi) ve belirtiyi neden olan yeraltı yapılarına ilişkin geometrik veya fiziksel özelliklerin daha iyi kestirilebilmesi için veriye spektral dönüşüm uygulanır. Laplace (1812)' dan Fourier (1822)' e ve günümüze kadar sürekli geliştirilen spektral dönüşüm yöntemlerinin, günümüzde iki veya üç boyutlu uygulamaları gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, boyut sayısı arttıkça görselleştirme problemlerini de beraberinde getirmektedir. Günümüzde spektral dönüşümler sinyal analizinin vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

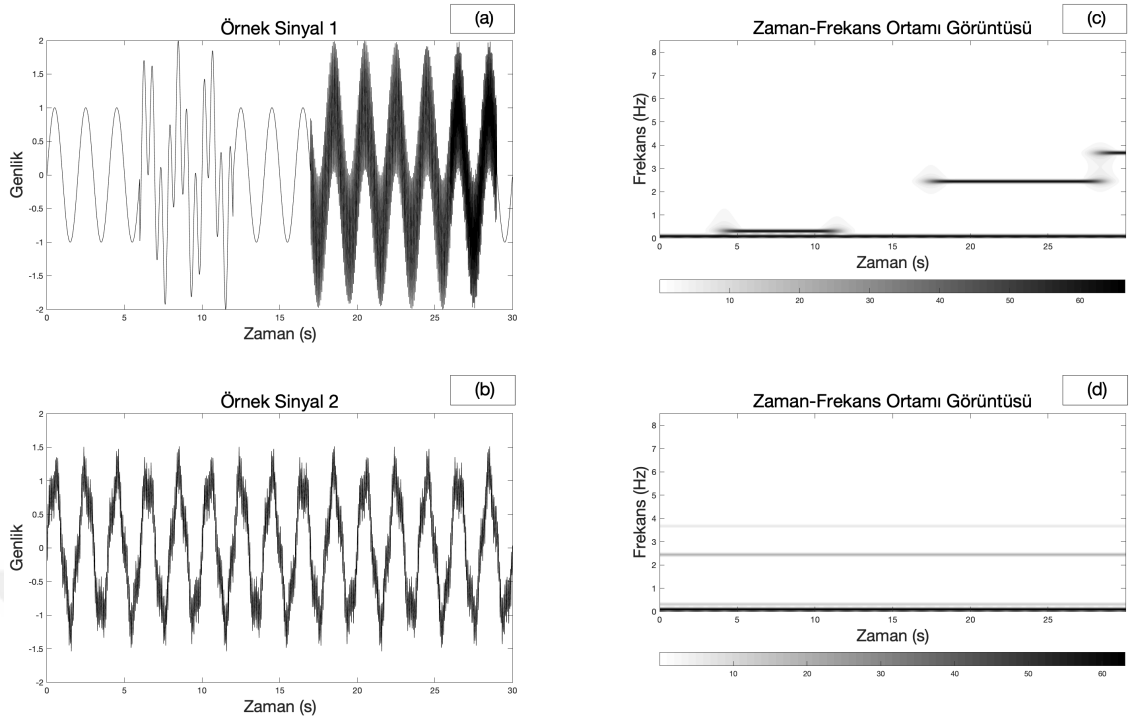
Zaman serisinin spektral özellikleri, genlik ve faz izgelerinin incelenmesiyle belirlenir. Fourier dönüşümü, bu tür bir zaman serisinin spektral özelliklerinin incelenmesinde yararlanılan analiz yöntemlerinin başında gelir. Bir zaman serisinin Fourier dönüşümü, ihtiva ettiği frekans bileşenleri hakkında bilgi verir. Fourier ortamında elde edilebilen genlik ve faz izgeleri her ne kadar zaman serisini oluşturan bileşenlerin birbirine göre gecikmeleri hakkında bilgi verse de hangi zamanda hangi tür olayların geliştiğine dair bilgi vermez. Yani, bir zaman serisi üzerinde Fourier dönüşümü uygulandığında zaman bilgisi tümüyle yok olmaktadır. Buna ilişkin bir örnek şekil 1.1' de verilmiştir. Şekil 1.1' in a panelinde sırasıyla, (0 s – 30 s) saniye zaman aralığında $f_1 = 0.5$ Hz frekanslı, (6 s – 12 s) zaman aralığında $f_2 = 1.8$ Hz frekanslı, (17 s – 26 s) zaman aralığında $f_3 = 14.3$ Hz frekanslı ve (26 s – 29 s) zaman aralığında $f_4 = 21.5$ Hz frekanslı dört farklı sinyalin toplamından oluşan bir zaman serisi gösterilmiştir. Şekil 1.1'in b panelindeki zaman serisi ise, a panelinde kullanılan sinüzoidallere aynı frekans değerleri verilerek 30s uzunluğunda bir sinyal zamanda kesintilere uğratılmadan toplatılarak elde edilmiştir. Verilen bu iki sinyal aynı frekans bileşenlerinden oluşmakta ise de farklı özellikler göstermektedir. Şekil 1.1.c ve şekil 1.1.d panellerinde görülebileceği üzere Fourier dönüşümü iki farklı sinyale ait frekans spektrumlarını birbirine benzer şekilde görüntülemiştir. Bunun sebebi, dönüşümün durağan olmayan (non-stationary) sinyaller

söz konusu olduğunda zaman serisi içerisinde ani değişim yaratan olayların başlangıç ve bitiş zamanlarına ait bilgiyi verememesidir. Diğer bir ifadeyle, Fourier dönüşümü zaman bilgisi vermemektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için zaman-frekans dönüşümleri geliştirilmiştir.

Şekil 1.1’ de verilen aynı frekans içerikli iki sinyalin zaman frekans ortamı görüntüleri şekil 1.2’ de verilmiştir. Bu örnekler, durağan olmayan zaman sinyaller söz konusu olduğunda ve özellikle bu tür sinyaller içerisindeki geçici değişimler ile ilgilenildiği durumlarda Fourier dönüşümün yetersiz kaldığını göstermektedir. Şekil 1.1’ de Fourier dönüşümü sonucu elde edilen genlik izgelerine bakılarak, verilen iki örnek sinyalin benzer davranış gösterdiği düşünülebilir. Ancak, sinyaller zaman ortamında konumlandırıldıktan sonra elde edilen sonuca (Şekil 1.2) bakıldığında aynı frekans içeriğindeki iki farklı sinyalle karşılaşıldığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 1.1 a) Dört farklı sinüzoidal toplamından oluşan birinci zaman serisi, b) birinci zaman serisinde kullanılan frekanslardan oluşturulan ikinci zaman serisi c) birinci zaman serisinin Fourier genlik spektrumu, d) ikinci zaman serisinin Fourier genlik spektrumu



Şekil 1.2 a) Birinci örnek zaman serisi, b) ikinci örnek zaman serisi, c) birinci örnek zaman serisinin zaman-frekans (Gabor) dönüşümü, d) ikinci örnek zaman serisinin zaman-frekans (Gabor) dönüşümü

Verilen örneklerden de anlaşılacağı üzere zamanla değişen özellikteki bir sinyalin doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için tüm zamanlardaki davranışının incelenmesi gerekmektedir. Zaman-frekans dönüşümleri, bu tip durağan olmayan sinyallerin özelliklerini hem zaman hem frekans (veya uzaklık-dalgasayısı) ortamında inceleme imkânı verdiğinden tercih edilmektedir. Kısaca, zaman-frekans dönüşümleri bir zaman serisinin analizinde hangi zamanda hangi frekans bileşeninin bulunduğu tespit için kullanılan ve konvolüsyon integrali yapısında verilen ifadelerdir.

Bu tez çalışması kapsamında, iki boyutlu spektral dönüşümlerden biri olan ve kısa süreli Fourier dönüşümü ile Dalgacık dönüşümün üstün özelliklerini birleştiren Stockwell (S) dönüşümü, jeofizik verilere uygulanmak üzere MATLAB programlama dilinde kodlanmıştır. Geliştirilen bilgisayar kodu, üretilen sentetik gravite model verileri üzerinde uygulanarak doğruluğu test edilmiştir. Sonraki aşamada ise uydu görüntüsünden hesaplanan gridli gravite verisi üzerine başka bir işlem yapmadan uygulanarak belirtiye neden olan yeraltı yapısının geometrik özellikleri kestirilmeye çalışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde, 3. bölümde verilen sentetik modeller ve arazi verisi üzerinde uygulanan S-dönüşümün de temelini oluşturan zaman-frekans dönüşümlerinden kısa süreli Fourier, Gabor, dalgacık ve S-dönüşümlerinin kuramsal temelleri ve özellikleri üzerinde durulmuştur. Geliştirilen bilgisayar yazılımında kullanılan değişkenler de yine bu bölümde verilmiş olup sonraki bölümlerde ayrıca değinilmeyecektir.

2.1 Kısa Süreli Fourier Dönüşümü

Durağan olmayan sinyallerin Fourier dönüşümünde karşılaşılan zamanda veya mekânda konumlama sorununun üstesinden gelebilmek için geliştirilen ilk analiz yöntemi kısa süreli Fourier dönüşümüdür. Kısa süreli Fourier dönüşümü, basitçe uzun zaman sinyalini kısa bölümlere ayırarak her bölümün Fourier dönüşümünün alınması şeklinde hesaplanır. Yapılan işlem, dönüşümü alınacak fonksiyonun sabit genişlikli kayan bir dikdörtgen pencere ile çarpılmasıdır. Bu işlem sayesinde sinyal, zaman-frekans ortamına taşınmaktadır. Bir $\beta(t)$ sinyalinin kısa süreli Fourier dönüşümü (2.1) ile verilir (Allen 1977):

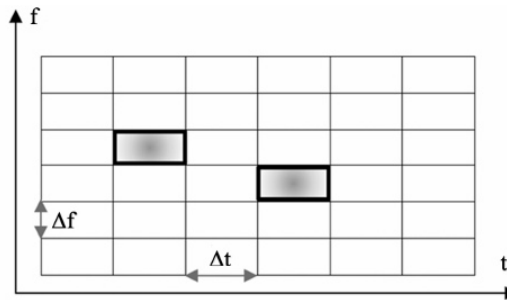
$$STFT(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \beta(\tau) h_{rect}(\tau - tR) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2.1)$$

Burada τ , zaman eksenini, R sabit değer olup birbirini takip eden pencereler arası atlama sayısını ve f , frekans eksenini temsil etmektedir. $\beta(\tau)$ giriş fonksiyonu ve $h_{rect}(\tau - t)$ ise pencere fonksiyonudur. $STFT(t, f)$, $\beta(\tau)h_{rect}(\tau - t)$ çarpımının Fourier dönüşümü alınmış haline karşılık gelmektedir ve $|STFT(t, f)|^2$ zaman-frekans güç spektrumuna *spektrogram* denilmektedir. Parseval teoremi ve Fourier dönüşümünün bir lineer dönüşüm olması gereği $\|h_{rect}\|^2 = 1$ koşulu sağlanmak zorundadır. $h_{rect}(\tau - t)$ fonksiyonunun değeri 1 olduğunda işlem Fourier dönüşümü haline gelir. $h_{rect}(\tau - t)e^{-j2\pi f\tau}$ şeklinde verilen çarpım ifadesinin enerjisi, hem frekans hem zaman ortamındadır. Sinyali zaman bölgesinde gösterebilmek için pencere fonksiyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Kısa süreli Fourier dönüşümünde kullanılan dikdörtgen pencere, m adet frekans için (2.2)' de verildiği gibi hesaplanır:

$$h_{rect}(t) = \begin{cases} 1, & -\frac{m-1}{2} \leq t \leq \frac{m-1}{2} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.2)$$

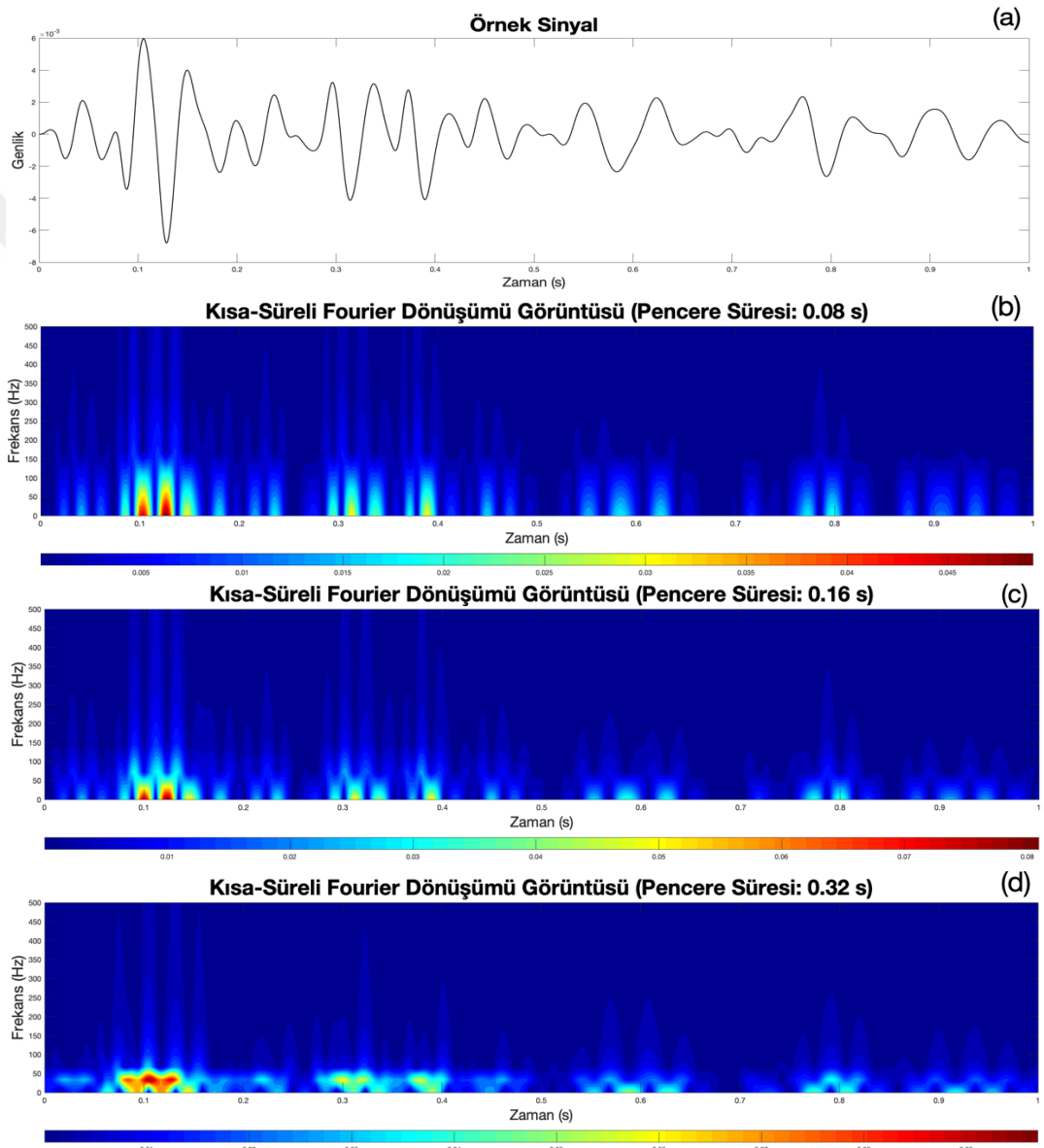
Kullanılan pencerenin genişliği, zaman- frekans bölgesi çözünürlüğünü doğrudan etkilemektedir. Kısa pencere seçimi zaman ortamında iyi çözünürlük sağlamakta fakat frekans ortamında düşük çözünürlüğe neden olmaktadır. Bununla birlikte, daha uzun bir pencere seçimi, özellikle içeriğin sürekli değiştiği sinyallerde çözümsel bir karmaşaya neden olmaktadır.

Pencere boyunun yarattığı çözümsel karmaşa, sinyal işlemede “Heisenberg belirsizlik prensibi” olarak adlandırılmaktadır. Zaman serileri, zaman ortamında yüksek çözünürlüğe ve frekans ortamında sıfır çözünürlüğe sahiptir. Bu, zaman ortamında çok küçük özelliklerin ayırt edilebildiği ancak frekans ortamındaki hiçbir özelliğin ayırt edilemediği anlamına gelir. Fourier dönüşümü ise sadece frekans ortamında çözünürlüğe sahiptir. Belirsizlik prensibi, sinyalin zaman ve frekans bölgesinde rasgele bir şekilde konumlandırılmayacağı anlamına gelmektedir. Çünkü frekans ortamı çözünürlüğü yüksek tutulursa zaman ortamı çözünürlüğü azalmakta, zaman ortamı çözünürlüğü yüksek tutulursa da frekans ortamı çözünürlüğü azalmaktadır. Bu nedenle belirsizlik prensibine göre, tüm zaman- frekans bölgesinde Δf ve Δt aralıkları, kendi eksenlerinde eşit aralıklı tutulmak zorundadır. Belirsizlik prensibi, pencere genişliğinin seçimine bağlı olarak kısa süreli Fourier dönüşümünün zayıf noktasıdır. Kısa süreli Fourier dönüşümünün zaman ve frekans bölgesi çözünürlüğü Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Zaman ve frekans bölgesi adım aralıklarına göre kısa süreli Fourier dönüşümünün çözünürlük ilişkisinin şematik gösterimi. (Δf : frekans bölgesindeki adım aralığı, Δt : zaman bölgesindeki adım aralığı)

Pencere uzunluğuna bağlı çözünürlük ilişkisinin daha anlaşılır bir hali şekil 2.2’ de verilmiştir. Zaman-frekans dönüşümlerinin bir boyutlu örneklerinin tümünde kullanılmak üzere Matlab CREWES Toolbox (Margrave 1991) ile bir zaman ortamı sinyali yaratılmıştır. Oluşturulan sentetik sismogram 1 s ’lik bir sinyaldir. Karşılaştırma yapabilmek için pencereler tüm zaman-frekans dönüşümü örneklerinde 0.01 s ’lik adım aralıklarıyla kaydırılmıştır.



Şekil 2.2 Yukarıdan aşağıya, a) Örnek zaman ortamı sinyali, b) 0.08 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü, c) 0.16 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü, d) 0.32 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanan zaman frekans görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, $f_N = 500 \text{ Hz}$)

Şekil 2.2' deki b panelinde 0.08 s' lik dikdörtgen pencere kullanılarak hesaplanmış bir örnek verilmiştir. Sinyal, zaman ekseninde doğru konumlandırılmıştır ancak frekans ortamı çözünürlüğü seçilen pencerenin kısa olması nedeniyle kötüdür. Şekil 2.2' de c panelinde 0.16 s' lik dikdörtgen pencere kullanılmıştır. Bu örnekte bileşenlere ait frekans bantları, b paneline kıyasla daha kolay ayırt edilebilmektedir ve frekans ortamı çözünürlüğü artmıştır. Görüldüğü gibi zaman-frekans ortamı çözünürlüğün iyileştirilmesinde pencere seçimi büyük önem arz etmektedir. Pencere genişliğini arttırmak zaman-frekans ayrımlılığını artırmaktadır ancak belirsizlik problemi nedeniyle seçilen pencere genişliğinin optimal düzeyde tutulması gerekmektedir. Şekil 2.2' deki d panelinde buna ilişkin bir örnek verilmiştir. Burada pencere genişliği 0.32 s' dir ve zaman bölgesinde sinyalin farklı frekanslı bileşenlerine ait olayların doğru konumlandırılmadığı görülmektedir. Pencere genişliği olması gerekenden geniş seçildiğinde sinyalin zaman-frekans ortamı çözünürlüğü bozulmaktadır.

Kısa süreli Fourier dönüşümü tamamen geri alınabilir bir işlemdir. Sinyal, ters kısa süreli Fourier dönüşümü ile tekrar elde edilebilir. Ters kısa süreli Fourier dönüşümü (2.3) ile verilmiştir (Allen 1977):

$$\beta(t) h_{rect}(t - \tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} STFT(t, f) e^{+j2\pi f t} df \quad (2.3)$$

Ayrık zaman durumunda dönüşümü alınacak veri daha sonra üst üste yığılmak üzere parçalara ayrılır. Her bir parça, sınır kısımlardaki sinyal etkisini azaltmak için birbirinin üstüne bindirilir. Daha sonra her bir parçanın Fourier dönüşümü alınır. Her bir zaman ve frekans noktasındaki genlik ve faz bir matriste toplanır. Bu işlem izleyen şekilde ifade edilebilir:

$$DSTFT(t, f) = \sum_{-\infty}^{\infty} \beta[\tau] h_{rect}[t - \tau] e^{-j2\pi f \tau} \quad (2.4)$$

Burada $\beta[\tau] h_{rect}[t - \tau]$ ifadesi $\beta[\tau]$ zaman sinyalinin τ anındaki kısa zaman parçasıdır ve $h_{rect}[t - \tau]$ fonksiyonu pencereyi ifade etmektedir.

İki boyutta kısa süreli Fourier dönüşümü:

$$STFT_{2D}(x, y, k_x, k_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} \beta(x, y) h_{rect_{2D}}(\tau_x - x, \tau_y - y) e^{-j2\pi f(\tau_x x + \tau_y y)} dx dy \quad (2.5)$$

olarak verilir. (2.5) integral bağıntısında k_x ve k_y , sırası ile koordinat sistemindeki x ve y doğrultularındaki dalga sayılarını ifade etmektedir. $\beta(x, y)$, dönüşümü alınacak sinyali, τ_x ve τ_y , x ve y eksenlerindeki kayma miktarlarını ifade etmektedir.

İki boyutta kısa süreli Fourier dönüşümünde kullanılacak iki boyutlu pencere (2.2) bağıntısından yararlanarak hesaplanır ve (2.6) ile tanımlanır:

$$h_{rect_{2D}} = h_{rect_{row}} * h_{rect_{column}} \quad (2.6)$$

Burada $h_{rect_{row}}$ ve $h_{rect_{column}}$ sırası ile satır ve sütun vektörler halinde hesaplanan dikdörtgen pencerelerdir.

2.2 Gabor Dönüşümü

Gabor dönüşümü, sabit genişlikte Gauss penceresinin kullanıldığı bir dönüşüm olup kısa süreli Fourier dönüşümünün özel bir halidir. Gauss fonksiyonu matematiksel olarak (2.7) bağıntısı ile verilir (Lukacs ve King 1954):

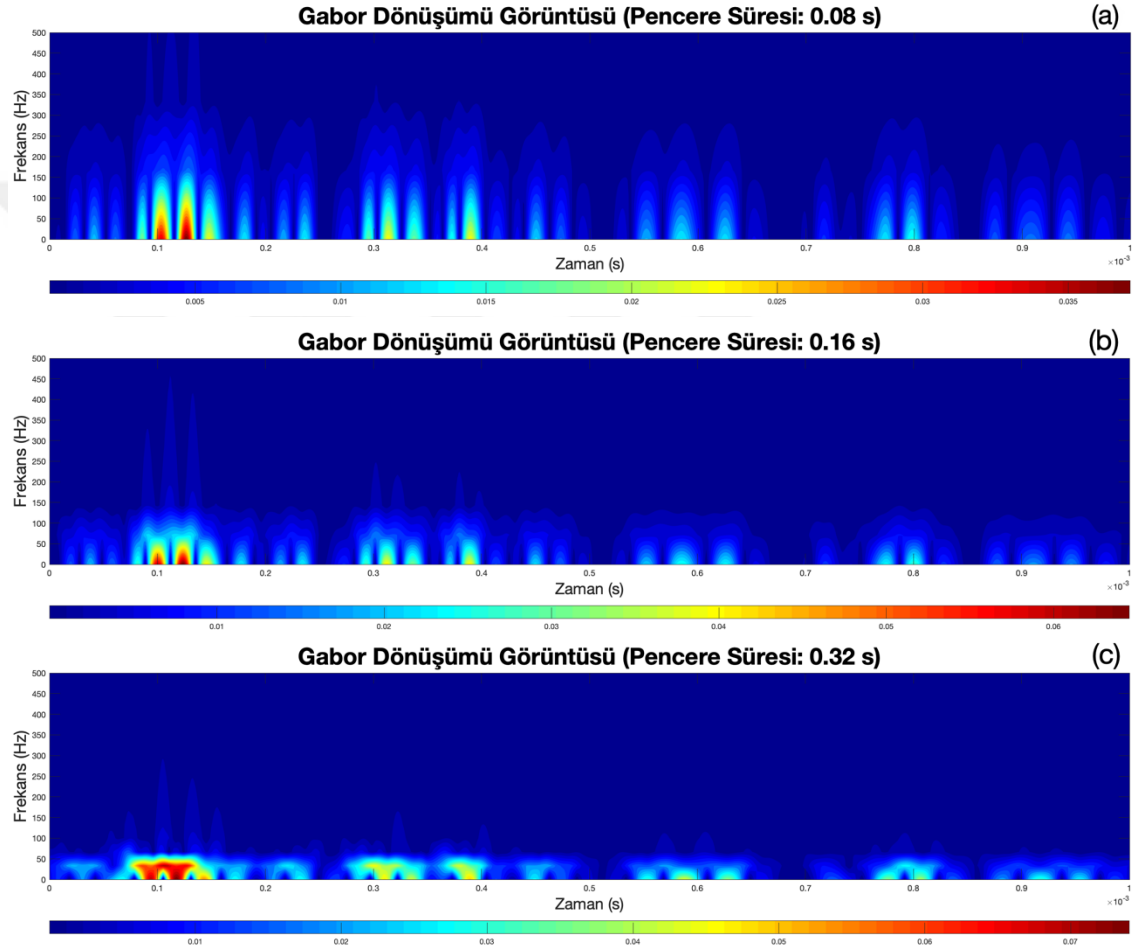
$$\gamma(t) = e^{\frac{-t^2}{2\sigma^2}} \quad (2.7)$$

Gabor dönüşümü bir sinyalin frekans ve faz içeriğinin zamanla değişimini incelemek için geliştirilmiştir ve (2.8) integrali ile ifade edilir (Carmona vd. 1998):

$$GT(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \beta(\tau) \gamma(\tau - t) e^{-j2\pi f t} d\tau \quad (2.8)$$

Dönüşümü alınacak fonksiyon, kısa süreli Fourier dönüşümünde olduğu gibi dikdörtgen penceresi yerine Gauss penceresi ile çarpılır ve elde edilen çarpımın Fourier dönüşümü alınır. Gauss penceresi ile çarpım, sinyalin analiz edilen zamandaki kısmına yapılacak ağırlıklandırmanın fazla olacağı anlamına gelir. Şekil 2.3' te sentetik sismogram

sinyalinin, farklı pencere uzunlukları seçilerek hesaplanan Gabor dönüşümleri gösterilmiştir. Gabor dönüşümü ile bu sinyalin bileşenleri, doğru bir şekilde elde edilmiştir. Spektral ayrımlılığın kısa süreli Fourier dönüşümünden daha yüksek olduğu görülmektedir. Zaman sinyalinin kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsünde sinyal bileşenlerinin yakın frekanslı kısımlarını birbirinden ayırmak zor iken, Gabor görüntüsünde yakın frekanslı kısımlar birbirinden daha kolay ayırt edilebilmektedir.



Şekil 2.3 Örnek zaman ortamı sinyaline ait a) 0.08 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü, b) 0.16 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü, c) 0.32 s' lik Gauss penceresi kullanılarak hesaplanan zaman frekans dönüşümü görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, $f_N = 500 \text{ Hz}$)

Kısa süreli Fourier dönüşümünde olduğu gibi Gabor dönüşümü de tamamen geri alınabilir bir işlemdir. Sinyalin ters dönüşüm ile eldesi (2.9) bağıntısı ile verilmiştir (Carmona vd. 1998).

$$IGT(\tau) = \beta(\tau) = \frac{1}{2\pi\|\gamma\|^2} \iint_{-\infty}^{\infty} GT(\tau, f) \gamma(\tau) df d\tau \quad (2.9)$$

Ayrık zamanlı durumda, kısa süreli Fourier dönüşümüne benzer olarak dönüşümü alınacak veri kısa zaman parçalarına ayrılır. Daha sonra her bir parçanın Fourier dönüşümü alınır ve parçalar birbirinin üstüne bindirilir. Ayrık zamanlı Gabor dönüşümü (2.10) ile verilir (Bastiaans ve Geilen 1996):

$$DGT(t, f) = \sum_{-\infty}^{\infty} \beta[\tau] \gamma[\tau - t] e^{-j2\pi f\tau} \quad (2.10)$$

İki boyutlu Gabor dönüşümün hesabı için öncelikle (2.6) ifadesine benzer şekilde iki boyutta Gauss penceresi hesaplanmalıdır. İki boyutta Gauss penceresi (2.11) ile verilir:

$$\gamma_{2D} = \gamma_{row} * \gamma_{column} \quad (2.11)$$

Burada γ_{row} ve γ_{column} sırası ile satır ve sütun vektörler halinde hesaplanan Gauss pencerelerdir. İki boyutta Gabor dönüşümü aşağıda verilmiştir.

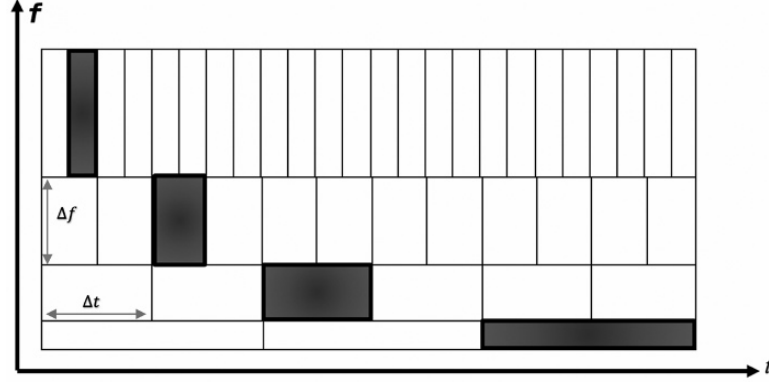
$$GT_{2D}(x, y, k_x, k_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} \beta(x, y) \gamma_{2D}(\tau_x - x, \tau_y - y) e^{-j2\pi f(\tau_x x + \tau_y y)} dx dy \quad (2.12)$$

Burada k_x ve k_y , sırası ile koordinat sistemindeki x ve y yönlerindeki dalga sayılarını ifade etmektedir. $\beta(x, y)$, dönüşümü alınacak sinyali ifade etmektedir. τ_x ve τ_y , x ve y eksenlerindeki kayma miktarlarını gösterir.

2.3 Dalgacık Dönüşümü

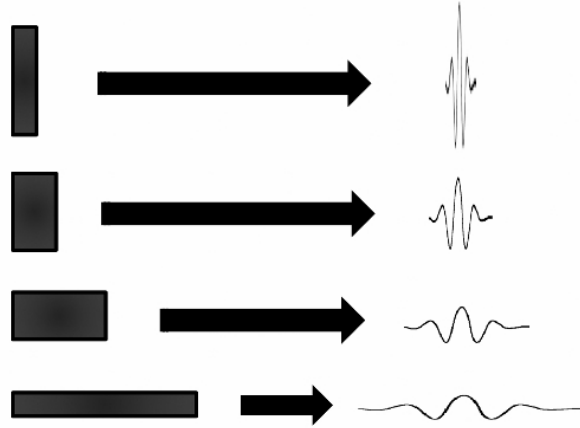
Kısa süreli Fourier ve Gabor dönüşümlerinin zaman-frekans çözünürlüğü problemini aşabilmek ve durağan olmayan sinyallerin analizini daha kaliteli hale getirmek için geliştirilen bir diğer yaklaşım da dalgacık dönüşümüdür. Dalgacık dönüşümü, kısa süreli Fourier ve Gabor dönüşümlerinin aksine hem frekans hem de zaman ortamında daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. Dalgacık dönüşümünün zaman-frekans ortamı çözünürlük ilişkisinin şematik olarak gösterimi şekil 2.4'te verilmiştir. Burada her bir

bloğun boyutu ve yönü çözünürlük boyutunu temsil etmektedir. Blokların boyutu ve yönü, zaman ve frekans alanında ayırt edilebilen özelliklerin miktarını göstermektedir.



Şekil 2.4 Zaman ve frekans bölgesi adım aralıklarına göre dalgacık dönüşümünün çözünürlük ilişkisinin şematik gösterimi

Dalgacık dönüşümü, kısa süreli Fourier dönüşümü ve Gabor dönüşümlerindeki pencere ile aynı işlevi gören belirli bir süre zarfı ile sınırlandırılmış dalgacıklar ile çalışmaktadır. Seçilen dalgacık fonksiyonu ile sinyal, konvole edilir. Dalgacık ölçeklenerek (sıkıştırılarak veya daraltılarak) işleme dahil edilir. Şekil 2.5'te dalgacığın ölçeklenişi gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Dalgacığın şekil 2.4 ile gösterilen alanlarda dalgacığın aldığı formlar

Kısa süreli Fourier ve Gabor dönüşümleri sabit genişlikli birer pencere fonksiyonu kullanarak sinyali zaman-frekans ortamına taşırken, dalgacık dönüşümü ölçeklenebilir ve değiştirilebilir dalgacık fonksiyonları kullanarak zaman-frekans bölgesine geçişi sağlamaktadır. Kısa süreli Fourier dönüşümü ve Gabor dönüşümlerinin sabit genişlikli pencere kullanması, zaman-frekans bölgesi çözünürlüğünü süreksizlik prensibi nedeniyle

kısıtlı tutmaktadır. Dalgacık dönüşümünün ölçeklenebilirlik özelliği, sinyalin farklı özelliklerini inceleyebilme imkânı sunduğundan dalgacık dönüşümünü bahsedilen bu iki zaman-frekans dönüşümünden daha üstün kılmaktadır. Bir sinyalin sürekli dalgacık dönüşümü alınırken gerçekleştirilen dalgacıkla çarpım işlemi, bant geçişli bir süzgeç gibi işlemektedir.

Bir $x(t)$ sinyalinin sürekli dalgacık dönüşümü (Akansu ve Haddad 1992),

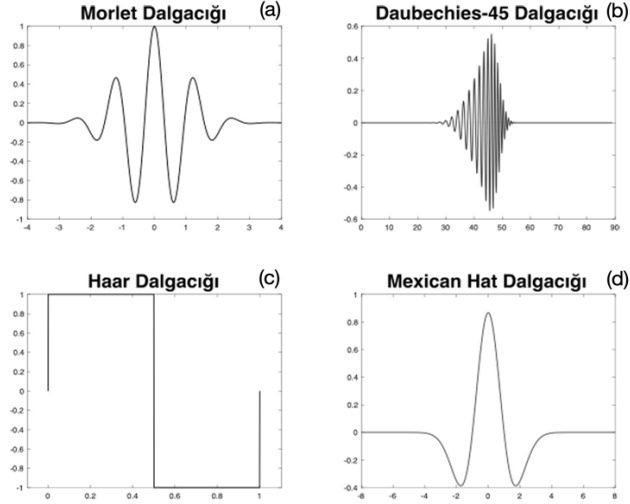
$$WT(\tau, f) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} \beta(\tau) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (2.13)$$

integrali ile hesaplanır. Burada ψ fonksiyonu, kullanılan dalgacığı temsil etmektedir. ψ , ortalaması sıfır olan hem frekans hem de zaman ortamında lokalize bir fonksiyon olmalıdır. a , ölçekleme parametresi veya skala olarak isimlendirilmektedir. Skala değerinin değişimi, pencereyi temsil eden ψ 'nin şekil 2.5' de gösterildiği gibi daralıp açılmasına yol açar. Bu da sinyalin detaylı bilgisini içeren kısmın daha belirgin veya daha kötü durumda çıkmasına neden olur (Chakraborty ve Okaya 1995). Skala değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$a = 2^p, \quad p = 0, \dots, 5 \quad (2.14)$$

Burada p değeri fazla büyük seçilirse, dalgacık fazla daralacaktır. Bu da hatalı hesaplama sebepleri olacağından geliştirilen bilgisayar kodlarında n değeri 0 ve 5 aralığında tutulmuştur.

Dalgacık dönüşümünde seçilen dalgacık (mother wavelet) tipi de elde edilen sonucu etkilemektedir. Dalgacık dönüşümünde yaygın kullanılan dalgacık tiplerine örnek olarak; Morlet, Haar, Mexican Hat, Daubechies, Coiflet, Symlet verilebilir. Şekil 2.6' da bu dalgacıklardan bazıları verilmiştir.



Şekil 2.6 Dalgacık dönüşümünde sıkça kullanılan bazı dalgacık tipleri sırasıyla a) Morlet dalgacı, b) Daubechies45 dalgacı, c) Haar dalgacı, d) Meksika şapkası (Mexican Hat) dalgacı

Şekil 2.6’ da gösterilen dalgacıkların genel bağıntıları sırası ile aşağıda verilmiştir.

a) Morlet dalgacı (Tangborn 2010, Cohen 2019, Carmona vd. 1998):

$$W_{morlet}(x) = e^{(i2\pi f_0 x)} e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}} \left(\sigma = \frac{N(\text{pencere genişliği})}{2\pi f_0}, f_0: \text{ilk frekans değeri} \right) \quad (2.15)$$

b) Daubechies dalgacı (Daubechies 1992):

$$W_{daubechies}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{2*n-1} h_k e^{ikt} \quad (\text{katsayılar } h_k, k = 0, \dots, 2 * n - 1) \quad (2.16)$$

c) Haar dalgacı (Tabassum vd. 2015):

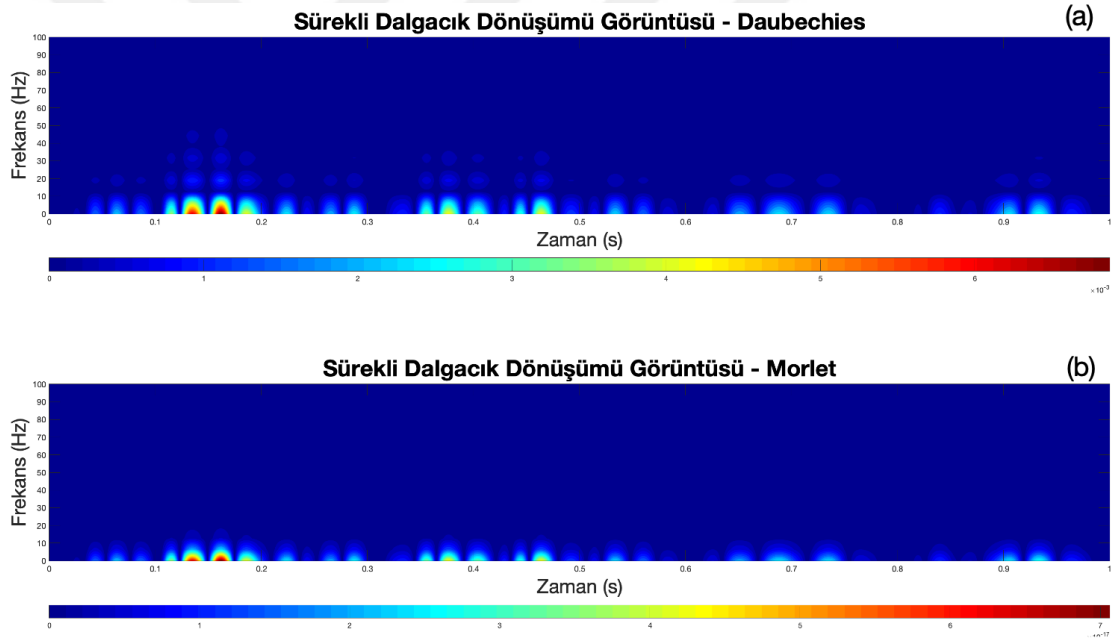
$$W_{haar}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq 0.5 \\ -1, & 0.5 \leq t \leq 1 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.17)$$

d) Meksika şapkası (Mexican hat) dalgacı (Daubechies 1992):

$$W_{maxican\ hat}(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-1/4} (1 - t^2) e^{-t^2/2} \quad (2.18)$$

Seçilen dalgacık tipinin dönüşüm üzerindeki etkisine bir örnek en sık tercih edilen iki dalgacık tipi için şekil 2.7’ de verilmiştir. Bu örnekte adım aralığı 0.01 s ve pencere genişliği de 0.16 s’ dir. Burada Gabor ve kısa süreli Fourier dönüşümlerine ait örneklerde kullanılan 1 s’ lik zaman sinyali kullanılmıştır.

Şekil 2.7’ de a ve b panellerinde verilen dalgacık dönüşümü görüntüleri birbirleriyle kıyaslandığında Daubechies-45 dalgacığını kullanan dönüşümün spektral ayrımlılığının, Morlet dalgacığını kullanan dönüşümden daha düşük olduğu görölmektedir. B panelinde, a paneline kıyasla yüksek frekanslı bölgelerin frekans bölgesi lokalizasyonu daha doğru dolayısıyla ayrımlılığı daha yüksektir. Görüleceği üzere Daubechies-45 dalgacığı frekans bölgesinde uzamaya sebep olmuş ve ayrımlılığı düşürmüştür.



Şekil 2.7 Farklı dalgacık tiplerine göre sentetik sismogram sinyalinin dalgacık dönüşümleri: a) Daubechies-45 dalgacığı kullanılarak hesaplanan dalgacık dönüşümü görüntüsü, b) Morlet dalgacığı kullanılarak hesaplanan dalgacık dönüşümü görüntüsü (adım aralığı 0.01 s, pencere süresi 0.16 s ve $f_N = 500$ Hz)

Ayrık dalgacık dönüşümü (2.19) ile verilmiştir (Akansu ve Haddad 1992):

$$DCWT(t, f) = \sum_{-\infty}^{\infty} \beta[\tau] \psi \left[\frac{\tau - t}{a} \right] e^{-j2\pi f \tau} \quad (2.19)$$

Dalgacık dönüşümü geri alınabilir bir işlemdir. Ters dalgacık dönüşüm integrali (2.20) ile verilir (Akansu ve Haddad 1992).

$$IWT(\tau) = \beta(\tau) = \iint_{-\infty}^{\infty} WT(\tau, f) \psi\left(\frac{\tau-t}{a}\right) e^{-j2\pi f\tau} \frac{df d\tau}{a^2} \quad (2.20)$$

$N \times M$ boyutlarında bir sinyalin iki boyutlu dalgacık dönüşümü (2.21) ile verilmiştir (Schmeelk 2002).

$$WT_{2D}(x, y, k_x, k_y) = \frac{1}{\sqrt{N \times M}} \iint_{-\infty}^{\infty} \beta(x, y) \psi_{2D}\left(\frac{\tau_x - x}{a_x}, \frac{\tau_y - y}{a_y}\right) e^{-j2\pi f(\tau_x x + \tau_y y)} dx dy \quad (2.21)$$

Burada k_x ve k_y , sırası ile x ve y yönlerindeki dalga sayılarını ifade etmektedir. $\beta(x, y)$, dönüşümü alınacak iki boyutlu sinyali ifade etmektedir. Dönüşümde kullanılacak iki boyutlu dalgacığın hesabı (2.22) ile verilmiştir.

$$\psi_{2D} = \psi_{row} * \psi_{column} \quad (2.22)$$

Burada ψ_{row} ve ψ_{column} sırası ile satır ve sütun vektörler halinde hesaplanan dalgacıklardır.

Skala değerleri x ve y yönü için (2.23) ifadesiyle verilir. İki boyutta hesabın doğru yapılabilmesi için şekil 2.5' teki gösterimde olduğu gibi her bir eksen yönüne ilerledikçe dalgacığın kendi ekseni yönünde genişlemesi gerekmektedir.

$$a_x = a_y = 2^r, \quad r = 5, \dots, 0 \quad (2.23)$$

2.4 S-Dönüşümü

Zaman frekans bölgesinde analiz için önerilen kısa süreli Fourier ve Gabor dönüşümleri daha önce de bahsedildiği gibi sabit genişlikli pencere kullandıklarından durağan olmayan sinyallerin analizinde yetersiz kalmaktadır. Pencere fonksiyonunun (ya da dalgacık fonksiyonu) ölçeklenmesine dayalı olarak geliştirilen dalgacık dönüşümü zaman

ve frekans bölgesinde iyi çalışmakta ancak verideki gürültü oranı arttığında işlevsiz hale gelmektedir. Buna ek olarak, dalgacık dönüşümünün ince bir frekans bandını yeterli netlikte çözmemesi ve faz bilgisi vermemesi de ayrıca sorun teşkil etmektedir (Gibson vd. 2006, Stockwell 2007). Tüm bu problemlerin üstesinden gelmek için kısa süreli Fourier dönüşümü ile sürekli dalgacık dönüşümlerinin üstün özellikleri kullanılarak ani frekansları daha detaylı çözebilen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem S-dönüşümü denilmektedir (Stockwell vd. 1996).

S-dönüşümü, sürekli dalgacık dönüşümünde bulunmayan bazı özellikleri barındıran ve bunu Fourier spektrumu ile doğrudan ilişkilendiren bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümünün aksine, S-dönüşümü frekansa bağlı bir zaman-frekans bilgisi vermekte ve bu bilgi anlık faz bilgisine karşılık gelmektedir. Elde edilen bu faz bilgisi, Fourier dönüşümü ile elde edilen faza karşılık gelmektedir (Stockwell 2007). Bu da doğruluğu artırmakta ve yöntemi diğerlerinden üstün kılmaktadır. S-dönüşümü integrali (2.24) ile verilmiştir (Stockwell vd. 1996). Burada τ , zaman eksenini f , frekans eksenini temsil etmektedir. $\beta(\tau)$, giriş fonksiyonu ve $\frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}\right]}$ ifadesi ise, Gaussian penceresidir.

$$ST(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \beta(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{f^2(\tau-t)^2}{2}\right]} e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.24)$$

Belirli bir n noktasındaki Gaussian penceresinin Fourier spektrumu “voice” olarak tanımlanır ve (2.25) ile verilir (Stockwell vd. 1996). S-dönüşümünün her bir *voice*’u zaman sinyalinin Fourier spektrumundan hesaplanabilir.

$$G(m, n) = e^{\left[\frac{-m^2}{2\left(\frac{n}{2\pi}\right)^2}\right]} \quad (2.25)$$

S-dönüşümü tamamen geri alınabilir bir dönüşümdür. Ters S-dönüşümü integrali (2.26) ile verilmiştir (Stockwell vd. 1996).

$$IST(\tau) = \beta(\tau) = \iint_{-\infty}^{\infty} ST(\tau, f) e^{i2\pi ft} dt df \quad (2.26)$$

Ayrık Fourier dönüşümü, $\beta[kT]$ fonksiyonu örnekleme aralığı T olan $\beta(t)$ zaman serisini sağlayan ayrık bir zaman serisi için

$$DFT \left[\frac{n}{NT} \right] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \beta[kT] e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (n = 0, 1, \dots, N-1) \quad (2.27)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır. Bu durumda ayrık S-dönüşümü aşağıdaki şekilde verilir.

$$DST \left[jT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{m=0}^{N-1} \beta \left[\frac{m+n}{NT} \right] e^{(-2\pi^2 m^2 / n^2)} e^{-i2\pi mj} \quad (n \neq 0) \quad (2.28)$$

Burada $j, m = 0, 1, \dots, N-1$ ve $n = 1, 2, \dots, N-1$ ’ dir. Sıfır frekanslı *voice* için ($f = 0$) ayrık S-dönüşümü bağıntısı (2.29) ile verilir.

$$DST[jT, 0] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \beta \left[\frac{m}{NT} \right] \quad (2.29)$$

Verilen bu eşitlik sıfır frekanslı *voice*’ daki zaman serisinin ortalamasını sabit bir değerde tutar.

İki boyutta S-dönüşümü (Min vd. 2013):

$$ST_{2D}(x, y, k_x, k_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} \beta(x, y) h_{gauss}(x - \tau_x, y - \tau_y) e^{-i2\pi f(\tau_x x + \tau_y y)} dx dy \quad (2.30)$$

olarak verilir. Burada $h_{gauss}(x - \tau_x, y - \tau_y)$ ifadesi iki boyutlu Gauss penceresidir ve iki Gauss penceresinin birbiri ile çarpılmasından elde edilebilir:

$$h_{gauss}(x - \tau_x, y - \tau_y) = \frac{f^2}{2\pi} e^{\left[\frac{-\tau_x^2}{2} + \frac{-\tau_y^2}{2} \right]} \quad (2.31)$$

Düşük frekans söz konusu olduğunda Gauss penceresinin kanatları zaman bölgesinde daha açık bir hal almaktadır. Bu da frekans bölgesinde konumlandırmanın daha doğru yapılacağı anlamına gelir. Yüksek frekanslı durumlarda ise, Gauss penceresinin kanatları zaman bölgesinde daha kapalı bir hal almaktadır. Bu, frekans bölgesinde daha doğru

konumlandırma yapılacağı anlamına gelmektedir. Pencere fonksiyonunun normalizasyon koşulunu sağlaması gerekmektedir. Yani,

$$\iint_{-\infty}^{\infty} h_{gauss}(x - \tau_x, y - \tau_y) dx dy = 1. \quad (2.32)$$

olmalıdır. Zaman sinyalinin Fourier spektrumu, S-dönüşümü katsayılarının çift katlı integralinden elde edilebilir.

$$\iint_{-\infty}^{\infty} ST_{2D}(x, y, k_x, k_y) dx dy = \beta(\tau_x, \tau_y) \quad (2.33)$$

Burada $\beta(\tau_x, \tau_y)$, $\beta(x, y)$ ifadesinin Fourier spektrumudur. Yani, (2.33) ifadesi S-dönüşümü ile Fourier dönüşümü arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Dönüşüm zaman bölgesinden zaman-frekans bölgesine ya da frekans bölgesinden zaman-frekans bölgesine uygulanabilir.

2.4.1 S-dönüşümünün genel özellikleri

S-dönüşümü, Gauss penceresinin frekans ortamı davranışını baz alarak zaman-frekans bölgesinde diğer dönüşümlere göre daha yüksek çözünürlük sağlamaktadır. (2.24) ile verilen genelleştirilmiş S-dönüşümü, dönüşümü alınacak sinyalin Fourier spektrumu kullanılarak da gerçekleştirilebilir.

$$ST(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \beta(\alpha + f) e^{\left[-\frac{f^2 \alpha^2}{2}\right]} e^{i2\pi \alpha \tau} d\alpha \quad (f \neq 0) \quad (2.34)$$

Burada $\beta(f)$, $\beta(t)$ zaman sinyalinin Fourier spektrumudur ve $\beta(\alpha + f)$ ifadesi sinyalin frekans bölgesindeki bir parçasını ifade eder. S-dönüşümü, spektruma ait gerçel ve sanal bileşenlerle birlikte faz spektrumunu ve genlik spektrumunu da ihtiva eder (Stockwell vd. 1996).

S-dönüşümü izleyen 4 koşulu sağlamalıdır (Wang 2010).

$$\text{I. } \int_{-\infty}^{\infty} \Re\{h_{gauss}(\tau, f)\} d\tau = 1. \quad (2.35)$$

$$\text{II. } \int_{-\infty}^{\infty} \Im\{h_{gauss}(\tau, f)\} d\tau = 0. \quad (2.36)$$

$$\text{III. } h_{gauss}(\tau - t, f) = \overline{[h_{gauss}(\tau - t, -f)]} \quad (2.37)$$

$$\text{IV. } \frac{\delta}{\delta t} \phi(\tau - t, f)|_{t=\tau} = 0. \quad (2.38)$$

2.4.2 Gauss penceresi

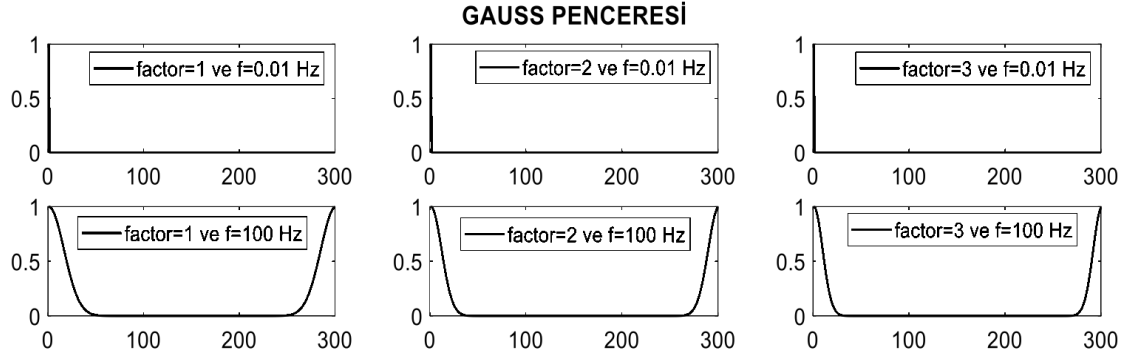
S-dönüşümünde hareketli Gauss penceresi kullanılmaktadır. Gauss penceresinin genelleştirilmiş formda zaman ortamı gösterimi (2.39) ile verilir. Burada pencere genişliğini ifade eden σ , $1/|f|$ ' e karşılık gelmektedir.

$$g(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}} \quad (2.39)$$

S-dönüşümünde kullanılan Gauss penceresi, dönüşüm esnasında her frekans için tekrardan hesaplanmaktadır. Gauss penceresinin frekans ortamı değerleri (2.40) ile hesaplanır (Stockwell vd. 1996).

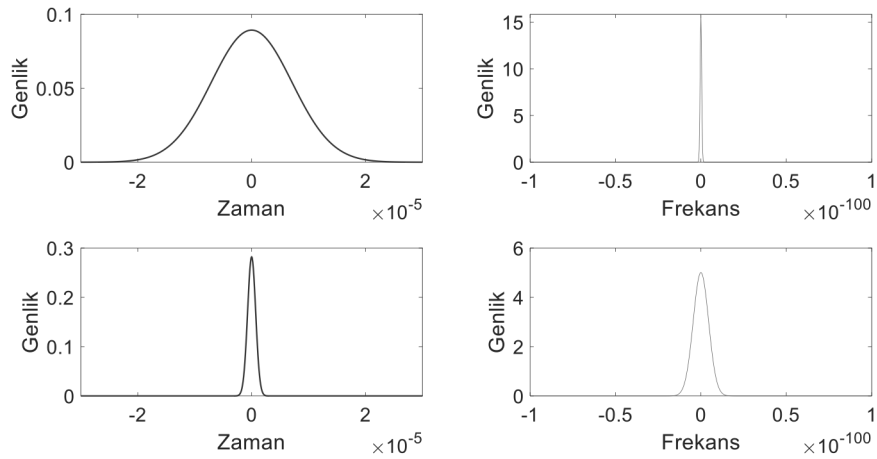
$$G(f) = e^{\left(-factor \times 2 \pi^2 / f^2\right)} \quad (2.40)$$

Burada *factor*, Gauss penceresinin kanatlarının davranışını değiştiren bir çarpandır. Şekil 2.8' de Gauss penceresinin *factor* çarpanı ve frekans seçimine bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Gauss penceresinin kanatlarının *factor* ve frekansa bağlı değişimi.

Düşük frekanslarda Gauss penceresi zaman ortamında geniş ve (hemen hemen tüm veriyi kapsayacak şekilde) frekans ortamında oldukça dar olmasından dolayı ayrımlılık kuvvetli olmaktadır. Benzer şekilde, Gauss penceresi yüksek frekanslara ilerledikçe frekans ortamında kanatlar açılmakta, bu zaman ortamında kanatların daraldığına ve yöntemin sinyaldeki ani değişimleri (yüksek frekanslı) olan duyarlılığını arttırmaktadır. Gauss penceresinin frekans ortamındaki değişimine dair örnek şekil 2.9’ da verilmiştir. Gauss penceresinin belirtilen bu özellikleri nedeniyle S-dönüşümü, kısa süreli Fourier dönüşümü, Gabor ve dalgacık dönüşümlerinden daha üstündür.

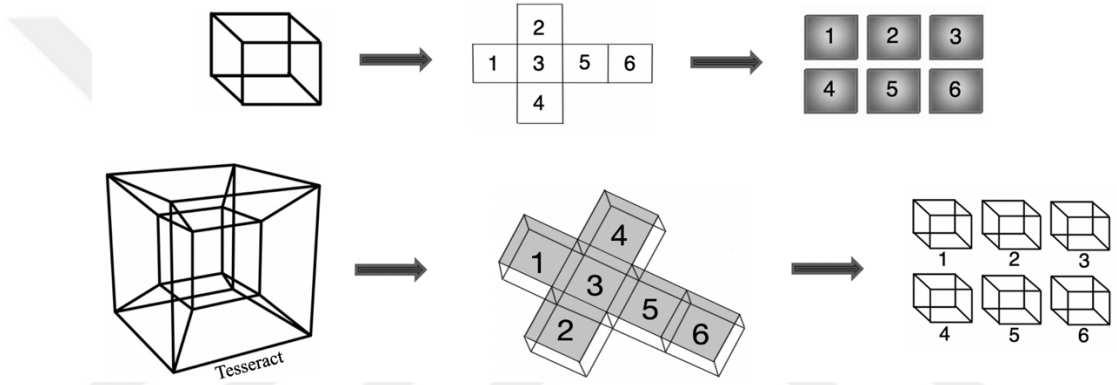


Şekil 2.9 Gauss penceresinin Fourier dönüşümü sonrası formu (Başokur 2007)

3. ZAMAN-FREKANS DÖNÜŞÜMLERİNİN UYGULANMASI

Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere, iki boyutta zaman-frekans dönüşümlerinin sonucu dört boyutlu bir dizey elde edilmektedir. Elde edilen bu matematiksel dört boyutlu dizeyin görüntülenerek yorumlanması da ayrı bir problem teşkil etmektedir.

Şekil 3.1’ de 2B ve 3B görüntülemeye dair örnek bir gösterim verilmiştir. Burada 3B bir cismin 2B kesitler şeklinde gösterilebileceği, 4B cismin de 3B kesitler şeklinde gösterilebileceği görülmektedir.



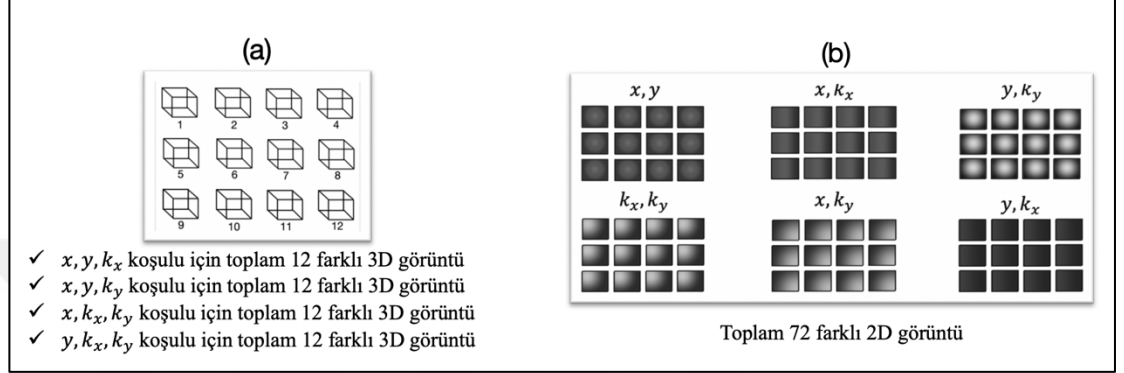
Şekil 3.1 3B ve 4B cisimlerin birer yönlerinin sabit tutularak görüntülenmesine dair sembolik gösterim

$TF(x, y, k_x, k_y)$ ifadesi ile temsil edilen 4B bir dizeyin görüntülenebilmesi için iki farklı yol vardır:

- I. Yönlerden birinin sabit tutularak diğer yönlerin 3B görüntülenmesi
- II. Yönlerden iki tanesinin sabit tutularak diğer yönlerin 2B görüntülenmesi

Örneğin, $TF(12,12,12,12)$ şeklinde bir dizey söz konusu olduğunda, 2B kesit sayısı Şekil 3.2.b’ de gösterildiği gibi 6 farklı koşul için toplam 72 adet olacaktır. Daha büyük bir dizey söz konusu olduğunda kesit sayısı daha da artacak ve bu görüntüleri yorumlamak karmaşık bir hal alacaktır. Buna ek olarak elde edilen 2B kesitler, diğer koşullarda çizdirilen 2B kesitlerden bağımsız bir şekilde yorumlanamayacaktır. Eğer 4B dizeyin bir yönü sabit tutularak 3B kesitler elde edilirse sabit tutulan yön sayısı (örn. 12 adet) kadar 3B kesit elde edilecek ve sabit yönün değiştiği koşula tekabül eden 3B görüntüler elde

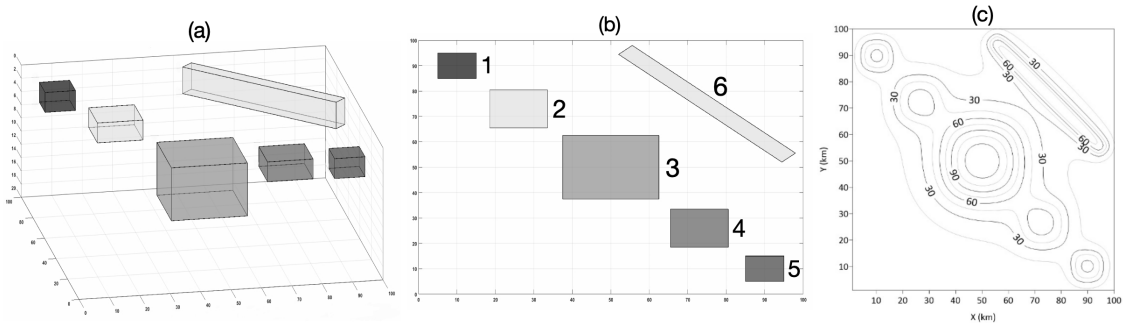
edileceğinden bu görüntülerin yorumlanması çok daha kolay bir hal alacaktır (Şekil 3.2.a). Bu çalışmada, burada anlatılan sebepler nedeniyle 4B veri 3B kesitler haline görüntülenmiştir. Kesitlerin görüntülenebilmesi için sabit tutulan yönler, koordinat düzleminde sentetik veri ile gerçek verideki yapıların orta noktalarına denk gelecek dikey ve yatay hatlar şeklinde seçilmiştir.



Şekil 3.2 $TF(12,12,12,12)$ şeklinde bir dizey için elde edilecek görüntülerin şematik gösterimi; a) 3B görüntüler, b) 2B görüntüler

3.1 Sentetik Model Üzerinde Zaman-Frekans Dönüşümlerinin Test Edilmesi

İkinci bölümde anlatılan zaman-frekans dönüşümleri bu bölümde sentetik gravite modeli üzerinde uygulanmış ve sonuçları dördüncü bölümde karşılaştırılacaktır. Oluşturulan sentetik gravite modeline ait perspektif, plan ve veri görüntüleri Şekil 3.3.a-c' de verilmiştir. Modelin boyutu 100×100 km'dir.



Şekil 3.3 İki boyutlu zaman-frekans dönüşümlerinde kullanılacak sentetik gravite modelin; a) perspektif görüntüsü, b) plan görüntüsü ve c) model verisi

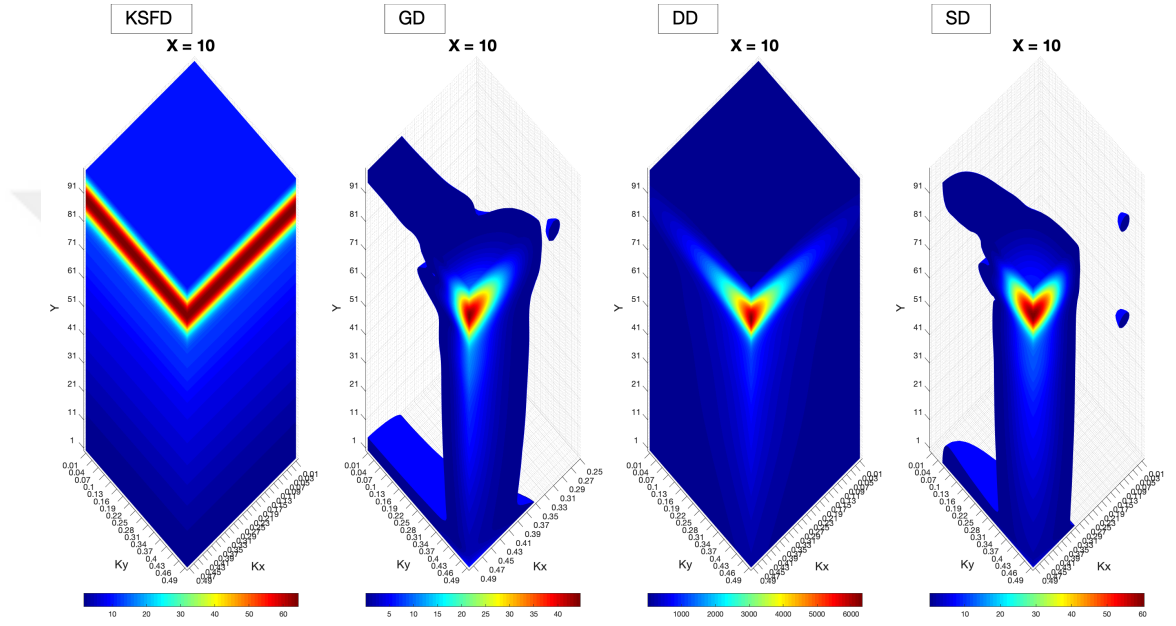
Şekil 3.3' de verilen sentetik gravite modeli farklı derinlik ve konumlarda bulunan toplam 6 adet yeraltı yapısından oluşmaktadır. Modelin arka plan yoğunluğu 0 g/cm^3 , yapıların

yoğunluğu ise 1 g/cm^3 tür. Veri, gravite alanının düşey bileşenidir. Şekil 3.3.b' de numaralandırılan yapıların özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1 numaralı yapı:
 - X yönünde 5-15 km, Y yönünde 85-95 km arasında
 - Merkezi (10,90)
 - Ebatları 10×10 km
 - Derinliği 2-5 km arasında
- 2 numaralı yapı:
 - X yönünde 20-35 km, Y yönünde 65-80 km arasında
 - Merkezi (25,75)
 - Ebatları 15×15 km
 - Derinliği 4-7 km arasında
- 3 numaralı yapı:
 - X yönünde 37-62 km, Y yönünde 37-62 km arasında
 - Merkezi (50,50)
 - Ebatları 25×25 km
 - Derinliği 7-12 km arasında
- 4 numaralı yapı:
 - X yönünde 65-80 km, Y yönünde 25-35 km arasında
 - Merkezi (75,25)
 - Ebatları 15×15 km
 - Derinliği 4-7 km arasında
- 5 numaralı yapı:
 - X yönünde 85-95 km, Y yönünde 5-15 km arasında
 - Merkezi (90,10)
 - Ebatları 10×10 km
 - Derinliği 2-5 km arasında
- 6 numaralı yapı:
 - 60.81 km uzunluğunda
 - Derinliği 1-5 km arasında

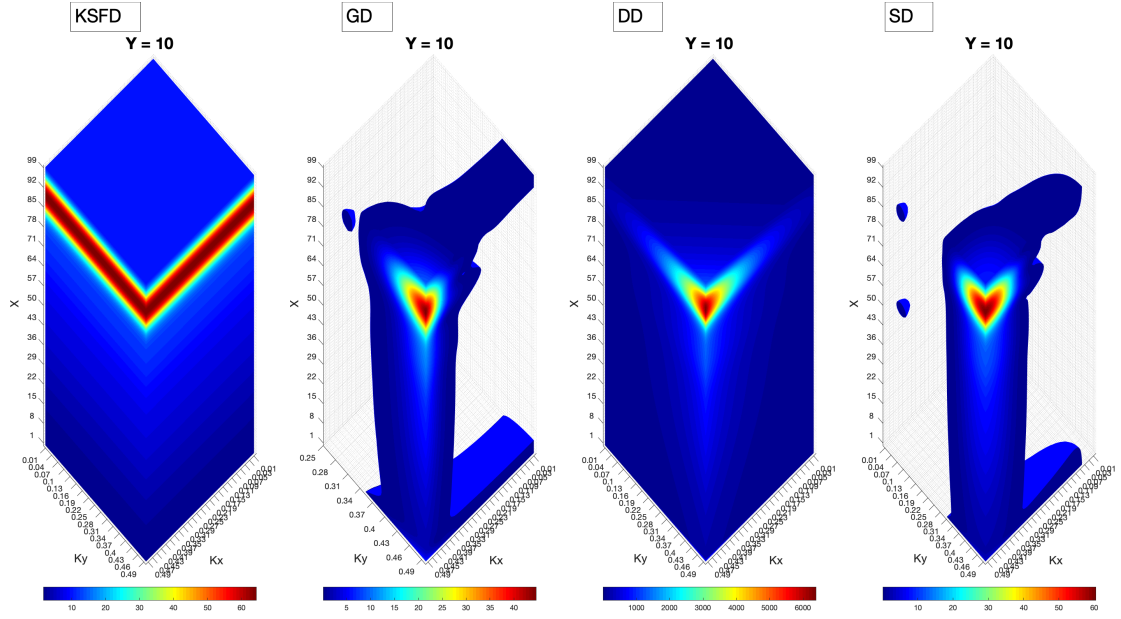
Karşılaştırma yapabilmek için sentetik modele ait tüm iki boyutlu zaman-frekans dönüşümü örneklerinde, iki boyutlu pencerelerin boyutları, veri boyutları ile aynı seçilmiştir. Veriler, MATLAB *repmat* komutu ile tekrarlatılarak dönüşüme tabi tutulmuştur. Görüntüler, MATLAB *patch* ve *contourf* komutları ile çizdirilmiştir (Şekil 3.4 – 3.14).

Şekil 3.4' te sırası ile x ve y yönlerinden biri sabit tutularak oluşturulan üç boyutlu görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.4' te $y = 90$ noktasında 1 numaralı yapıya ait anomali görülmektedir. Kısa süreli Fourier, dalgacık ve S-dönüşümü sonuçlarına göre yapının y yönünde yaklaşık 85. ve 95. kilometreler arası konumlandığı görülmektedir. Gabor dönüşümü sonucuna göre y yönünde yapı, 84. ve 95. kilometreler arasında bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Sentetik gravite modelinin $x = 10$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç-boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

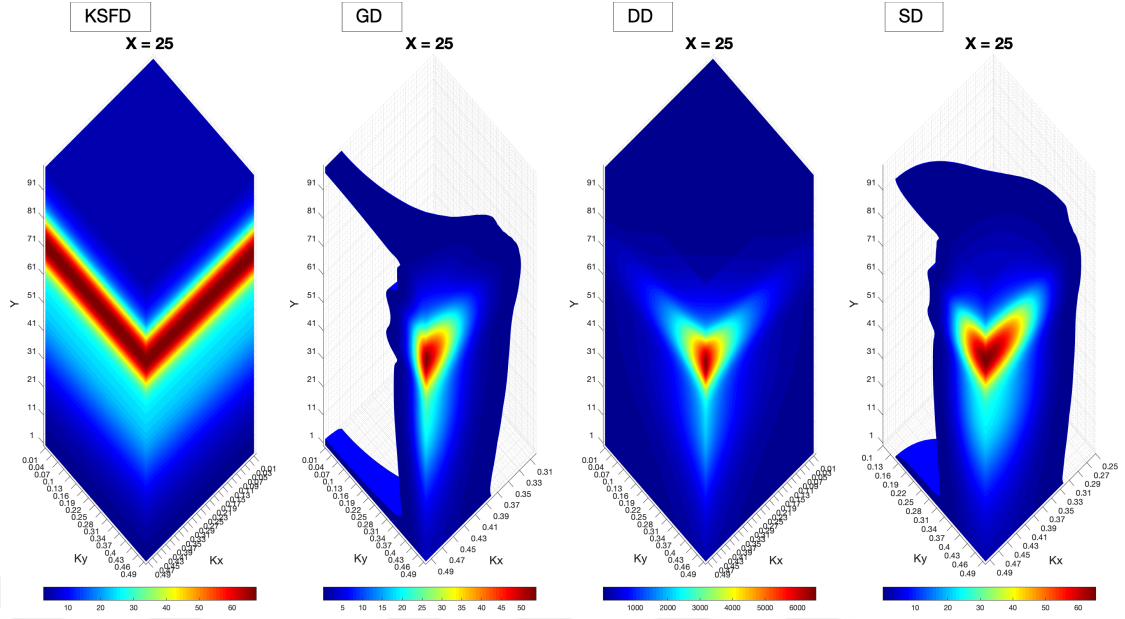
Şekil 3.5' te $x = 90$ ' da görülen anomali modele ait plan görüntüdeki 5 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier ve S-dönüşümü sonuçlarına göre yapının x yönünde yaklaşık 85. ve 95. kilometreler arası konumlandığı görülmektedir. Gabor dönüşümü sonucuna göre x yönünde yapının 84 ile 95 km arasında konumlandığı görülmektedir. Dalgacık dönüşümüne göre yapının x yönünde bulunduğu aralık 87 – 97 km' dir.



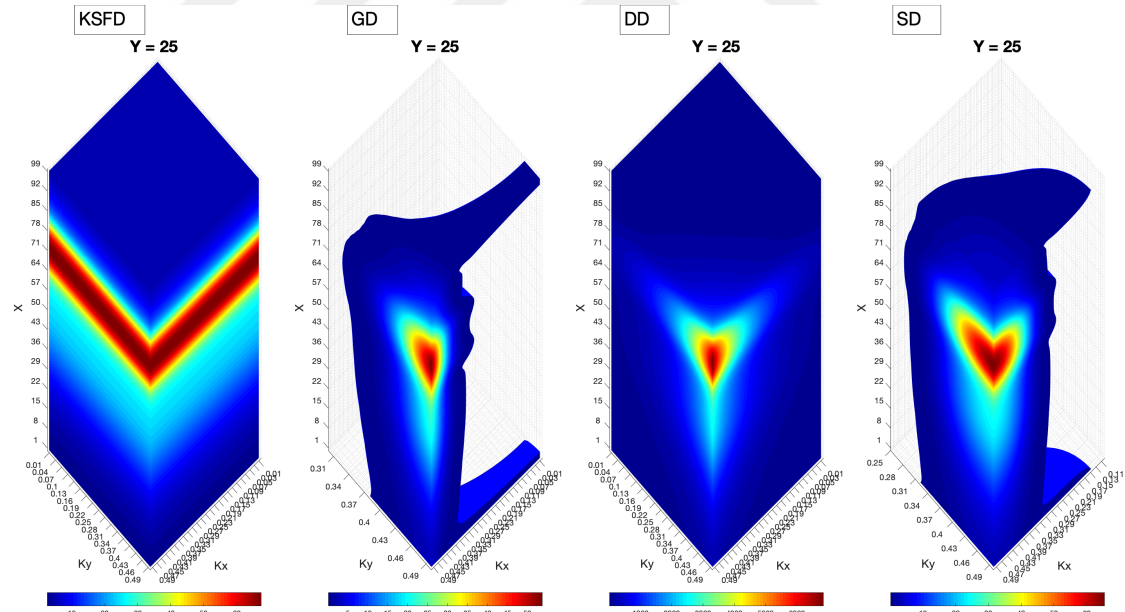
Şekil 3.5 Sentetik gravite modelinin $y = 10$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

Şekil 3.6' da yaklaşık $x = 75$ ' te görülen anomali, sentetik gravite modeline ait plan görüntüdeki 4 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier ve S dönüşümüne göre yapının x yönünde yaklaşık 65. ve 80. kilometreler arasında olduğu görülmektedir. Gabor dönüşümüne göre yapı x yönünde 63 ve 81 km arasındadır. Dalgacık dönüşümüne göre x yönünde bulunduğu aralık 67-82 km' dir.

Şekil 3.7' de yaklaşık $y = 75$ ' e tekabül eden anomali, 2 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier, dalgacık ve S dönüşümüne göre yapının y yönünde yaklaşık 65. ve 80. kilometreler arasında olduğu görülmektedir. Gabor dönüşümüne göre yapının y yönündeki konumu 63 ile 81. kilometreler arasındadır.



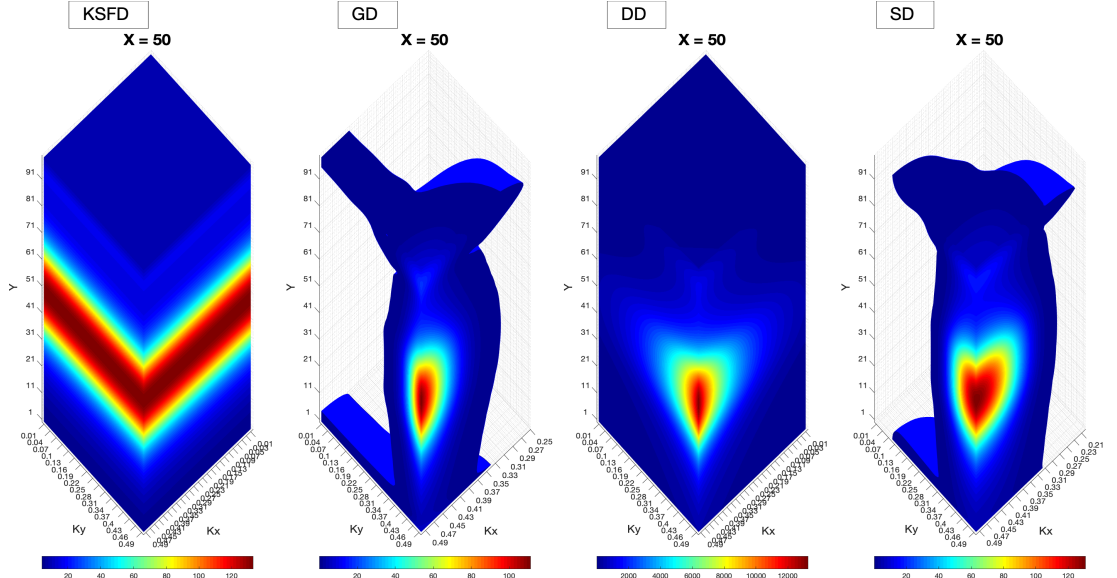
Şekil 3.6 Sentetik gravite modelinin $x = 25$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü



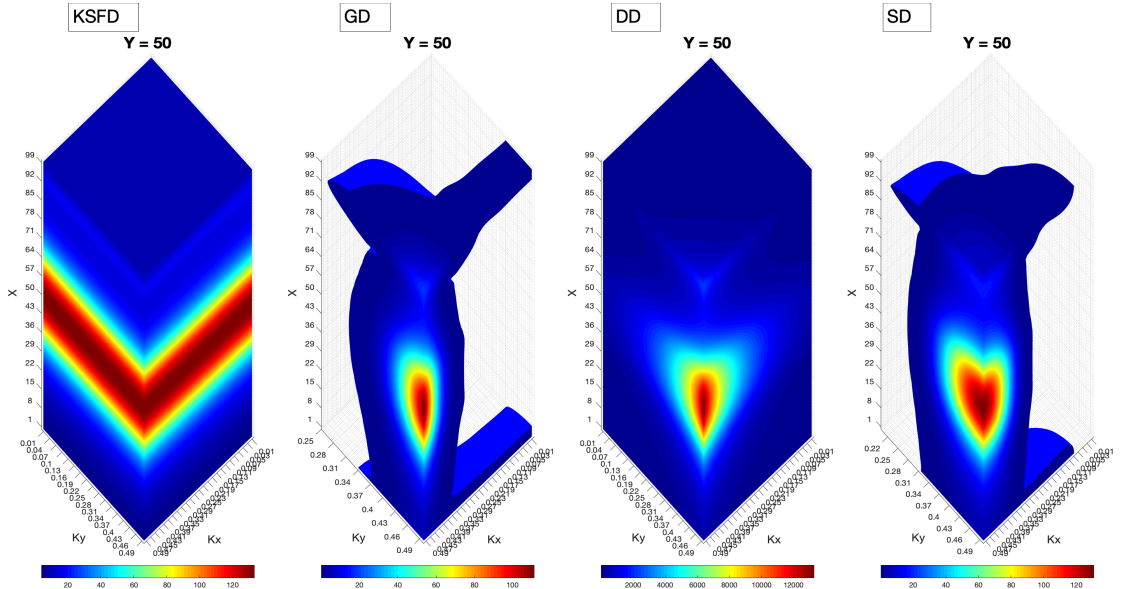
Şekil 3.7 Sentetik gravite modelinin $y = 25$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

Şekil 3.8' de yaklaşık $x = 50'$ de görülen anomali ile şekil 3.9' da yaklaşık $y = 50'$ ye tekabül eden anomali yine 3 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier ve S dönüşümlerine göre yapı x ve y doğrultusunda 37. ve 62. kilometreler arasında, Gabor

dönüşümüne göre de yapı x ve y yönünde 38-62 km arasında bulunmaktadır. Dalgacık dönüşümüne göre y yönünde 38-62 km arasında, x yönünde 40-65 km arasında konumlanmıştır.

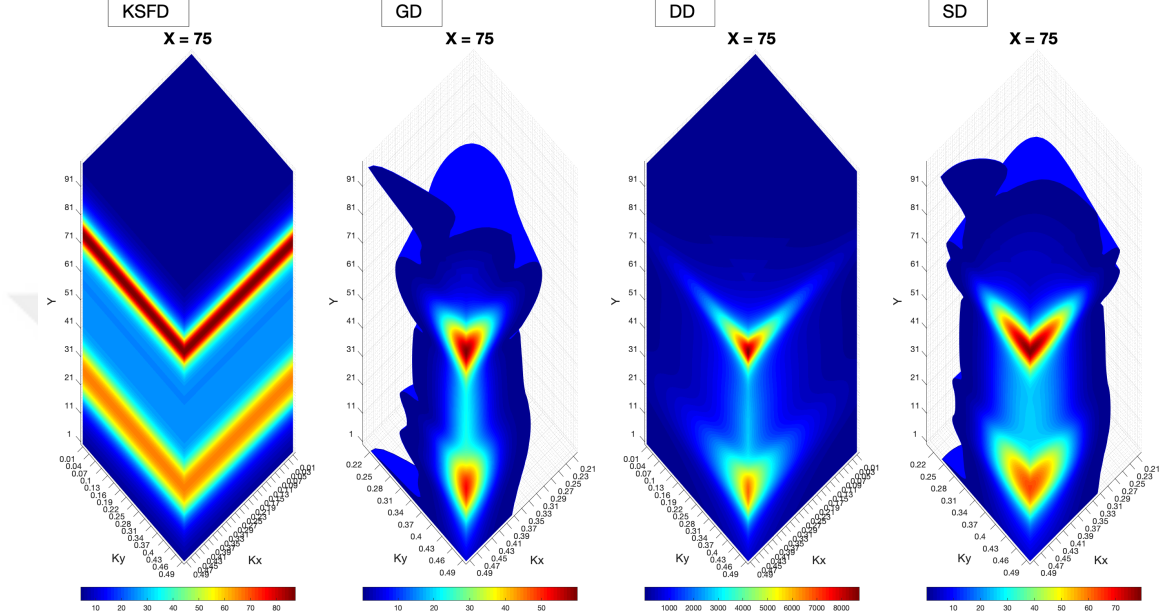


Şekil 3.8 Sentetik gravite modelinin $x = 50$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü



Şekil 3.9 Sentetik gravite modelinin $y = 50$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

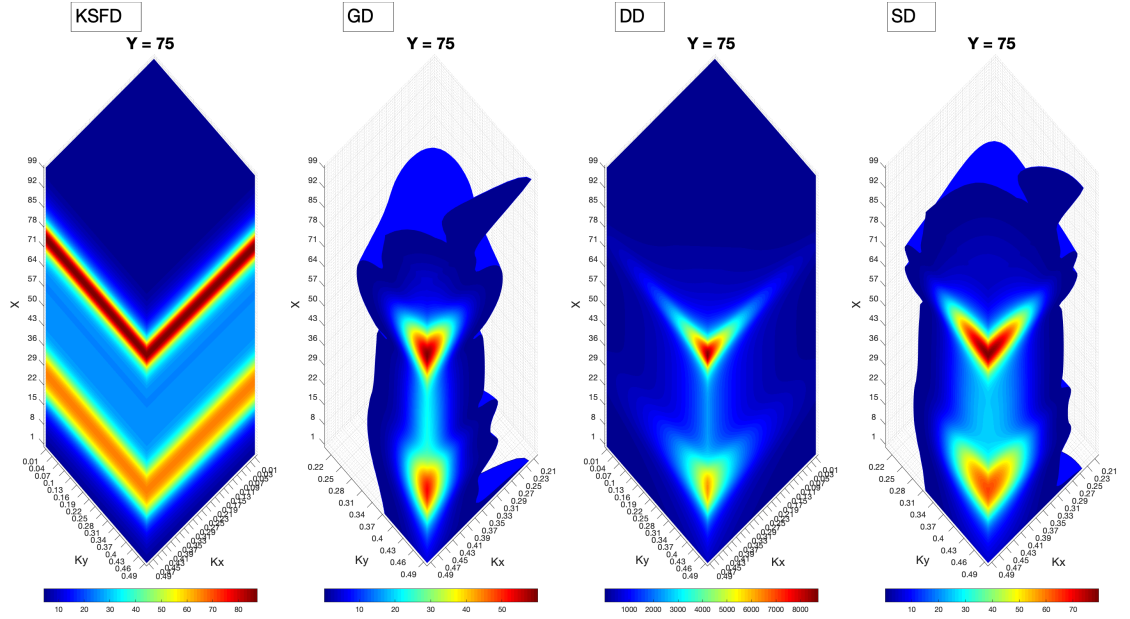
Şekil 3.10' da yaklaşık $x = 75$ 'te görülen anomali 6 numaralı yapıyı göstermektedir. Yaklaşık $x = 25$ 'te görülen anomali 2 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier, Gabor ve S dönüşümlerine göre yapı x yönünde 20-35 km arasında bulunmaktadır. Dalgacık dönüşümüne göre de 21-36 km arasında bulunmaktadır.



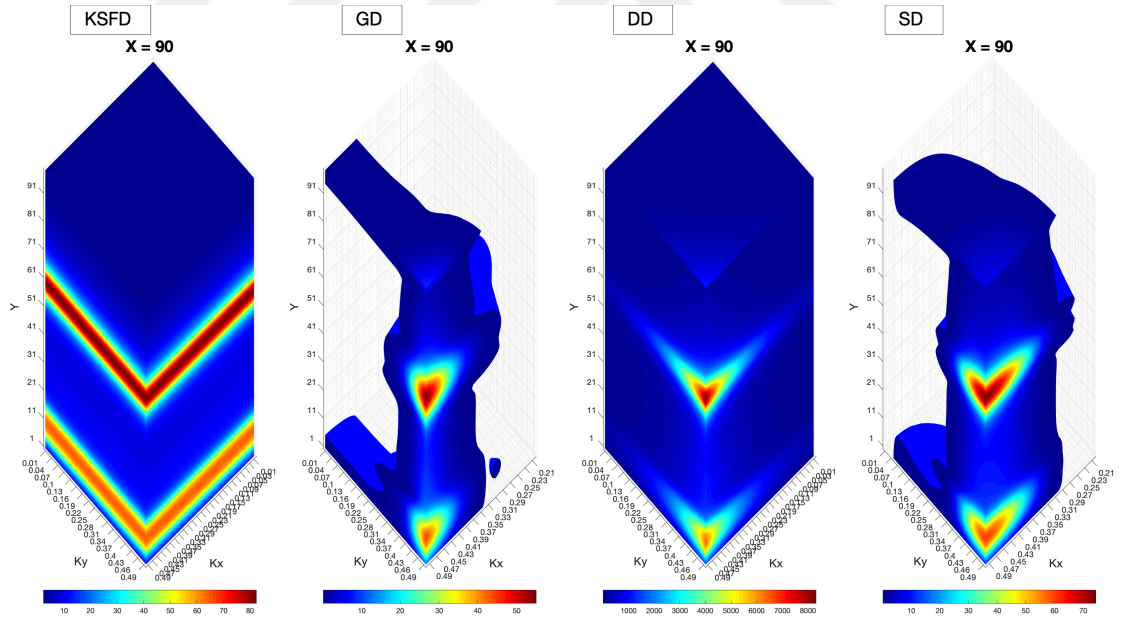
Şekil 3.10 Sentetik gravite modelinin $x = 75$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

Şekil 3.11' de yaklaşık $y = 75$ 'te görülen anomali 6 numaralı yapıyı göstermektedir. Yaklaşık $y = 25$ 'te görülen anomali 4 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier, Gabor, dalgacık ve S dönüşümlerine göre yapı y yönünde 20-35 km arasında bulunmaktadır.

Şekil 3.12' de $y = 60$ civarında görülen anomali, 6 numaralı yapıyı göstermektedir. Yaklaşık $y = 10$ 'da görülen anomali ise 5 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli Fourier, dalgacık ve S dönüşümüne göre 5 numaralı yapı y yönünde 5. ve 15. kilometreler arasında bulunmaktadır. Gabor dönüşümüne göre 6-15 km arasında, dalgacık dönüşümüne göre 7-17 km arasında bulunmaktadır.



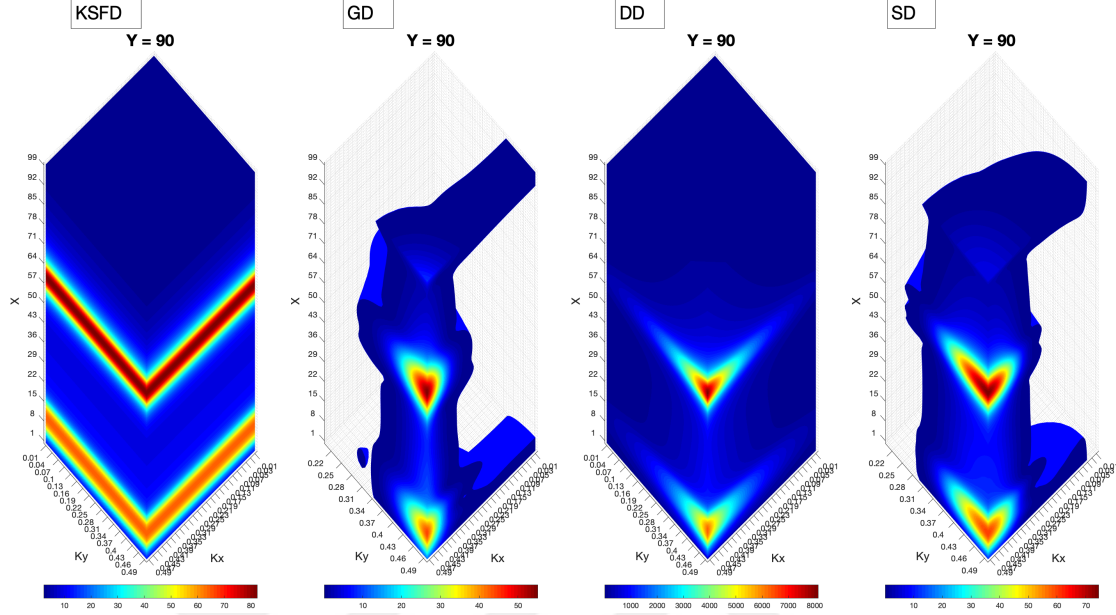
Şekil 3.11 Sentetik gravite modelinin $y = 75$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü



Şekil 3.12 Sentetik gravite modelinin $x = 90$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

Şekil 3.13' te $x = 60$ civarında görülen anomali, 6 numaralı yapıyı göstermektedir. Yaklaşık $x = 10$ ' da görülen anomali ise 1 numaralı yapıyı göstermektedir. Kısa süreli

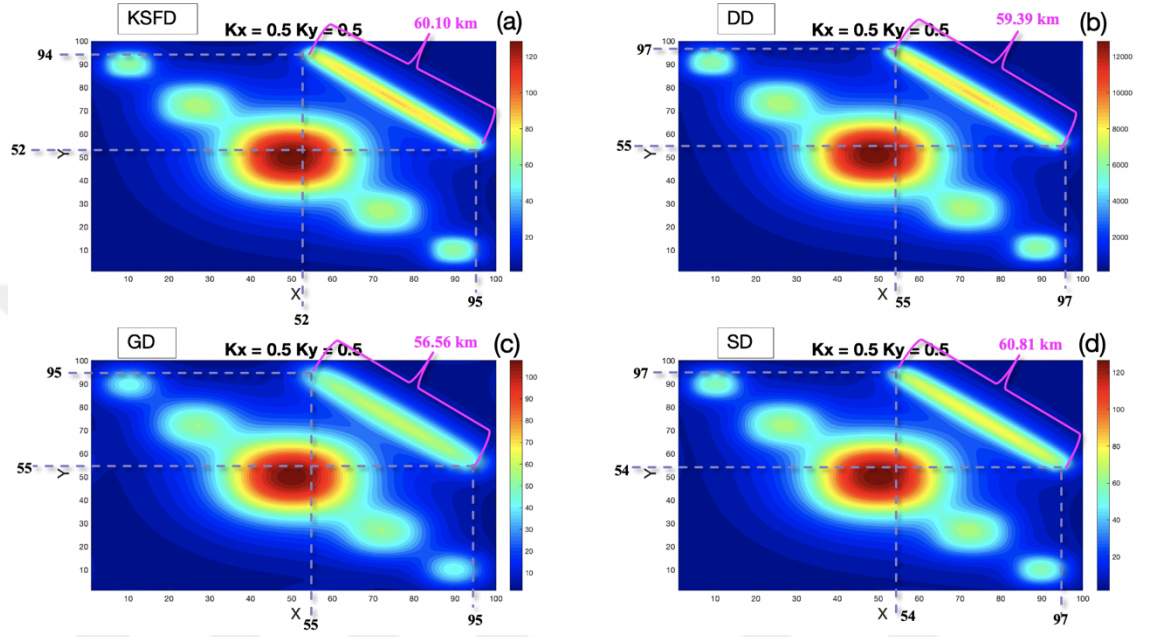
Fourier ve S dönüşümüne göre 1 numaralı yapı 5. ve 15. kilometreler arasında bulunmaktadır. Gabor dönüşümüne göre 6-15 km arasında bulunmaktadır.



Şekil 3.13 Sentetik gravite modelinin $y = 90$ km konumunda ve dalgasayısı ortamında üç boyutlu görüntüleri; Soldan sağa: KSFD: Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, GD: Gabor dönüşümü görüntüsü, DD: dalgacık dönüşümü görüntüsü, SD: S-dönüşümü görüntüsü

6 numaralı yapı yatay şerit bir yapıdır. Bu yapı, x ve y yönleri sabit tutularak verimli bir şekilde görüntülenememiştir. Bu yapıyı görüntüleyebilmek ve yapının uzunluğunu belirlemek amacıyla Şekil 3.14' te sentetik gravite modelinin x-y ortamında 2B görüntüleri verilmiştir. Burada dalgasayısı değerleri maksimum değerlerinde sabit tutularak 2B kesitler *contourf* komutu ile çizdirilmiştir. Daha sonra şekil 3.14' ten görülebileceği üzere yapıya ait anomalinin sınırları belirlenmiş ve dik üçgen hipotenüs hesabından yararlanılarak yapı boyları hesaplanmıştır. Kısa süreli Fourier dönüşümüne göre 6 numaralı yapının y ekseninde 52 ile 94 km arasında, x ekseninde de 52 ile 95 km arasında konumlandığı görülmektedir. Bu bilgilerden yapının boyu yaklaşık $\sqrt{42^2 + 43^2} = 60.10$ km ' dir. Gabor dönüşümü ile yapının x ekseninde 55 ve 95 km, y ekseninde de 55 ve 95 km arasında konumlandığı belirlenmiştir. Buna göre 6 numaralı yapının Gabor dönüşümünden hesaplanan uzunluğu yaklaşık $40\sqrt{2} = 56,56$ km olarak bulunmuştur. Dalgacık dönüşümü ile yapılan konumlamada 6 numaralı yapının x ekseninde 55 ve 97 km, y ekseninde de 55 ve 97 km arasında bulunduğu görülmektedir.

Buna göre 6 numaralı yapının uzunluğu yaklaşık $42\sqrt{2} = 59.3970$ km olarak bulunmuştur. S-dönüşümü sonucunda 6 numaralı yapının x ekseninde 54 ve 97 km, y ekseninde de 54 ve 97 km arasında konumlandığı görülmektedir. Buna göre 6 numaralı yapının uzunluğu yaklaşık $43\sqrt{2} = 60.8112$ km olarak bulunmuştur.



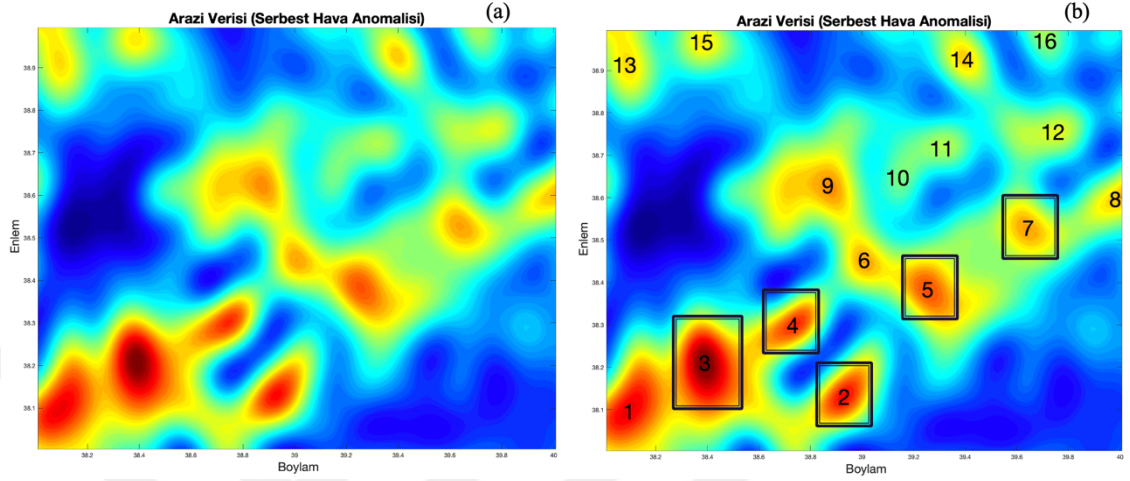
Şekil 3.14 $Kx = Ky = 0.5$ için sentetik gravite modelinin $x - y$ ortamı görüntüleri; a) kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü (KSFD), b) Dalgacık dönüşümü görüntüsü (DD), c) Gabor dönüşümü görüntüsü (GD), d) S-dönüşümü görüntüsü (SD)

3.2 S-Dönüşümünün Gerçek Veriye Uygulanması

Arazi verisi olarak uydu görüntülerinden dolayı hesaplanan ve araştırmacıların hizmetine sunulan veri tabanı kullanılarak Malatya-Elâzığ bölgesine ait gravite serbest hava anomalisi verileri kullanılmıştır. Kullanılan veri California Üniversitesi Oşinografi Enstitüsü web adresinden sağlanmıştır (Anonymous 2021). Serbest hava gravite anomalisi verisi 38° - 39° K enlemleri ve 38° - 40° D boylamları arasını kapsayıp (121,77) örnekten oluşmaktadır.

Bu bölümde gravite serbest hava anomalisi verisi üzerindeki yapılar, iki boyutlu veriye uygun kodlanan zaman-frekans dönüşümleri kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar, sentetik model verilerinde de olduğu gibi MATLAB programlama dili komutları olan

patch ve *isosurface* komutları ile görüntülenmiştir. Şekil 3.15.a’ da gravite serbest hava anomalisi verisinin *contourf* ile çizdirilmiş görüntüsü verilmiştir. Zaman-frekans dönüşümü ile yapı sınırlarının belirlenebilmesi için saha bölgelere ayrılmıştır.



Şekil 3.15 a) Malatya-Elâzığ bölgesi serbest hava anomalisi haritası, b) Arazi verilerinin zaman-frekans dönüşümleri kullanılarak incelenecek bölgelerin numaralandırılması

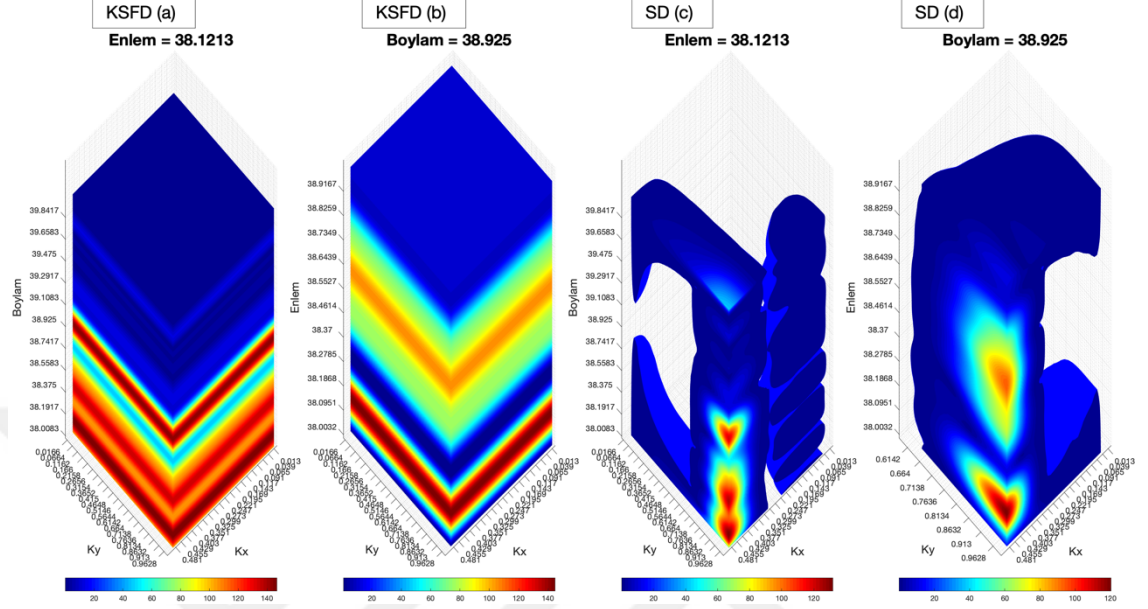
Bu bölgeler şekil 3.15.b’ de numaralandırılarak verilmiştir. Bu tez çalışmasında bölgelere ayırarak numaralandırılan anomaliler içerisinde şekil 3.15.b’ de kare içerisine alınan bölgeler analize tabi tutulmuştur. Seçilen bölgelerin belirlenen merkez noktalarına ait enlem ve boylam değerleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- 2. Bölge: Enlem = 38.1213, Boylam = 38.9250
- 3. Bölge: Enlem = 38.1999, Boylam = 38.3917
- 4. Bölge: Enlem = 38.3046, Boylam = 38.7417
- 5. Bölge: Enlem = 38.3831, Boylam = 39.2583
- 7. Bölge: Enlem = 38.5266, Boylam = 39.6417

Sentetik model üzerinde yapılan testlerde kısa süreli Fourier dönüşümü ile S-dönüşümünün daha başarılı olduğu görülmüş ve sadece bu dönüşümlerden elde edilen 3B kesitler şekil 3.16 – 3.20’ de verilmiştir.

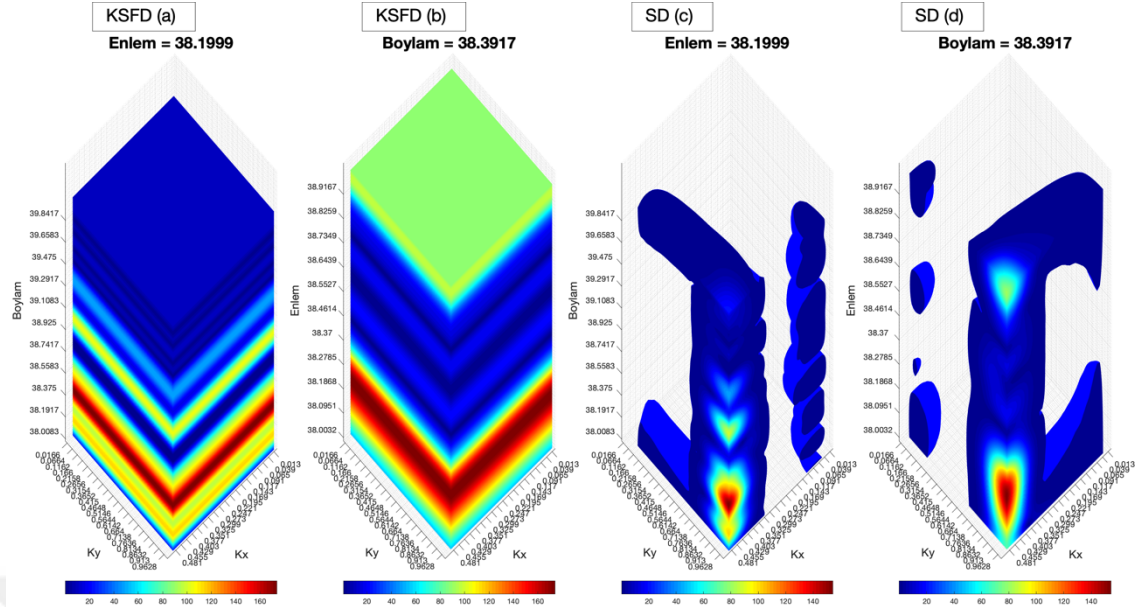
Şekil 3.16’ da 2. bölgeye ait zaman-frekans dönüşümü görüntüleri verilmiştir. Kısa süreli Fourier dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.0820 ve 38.1737, boylam değerleri

38.8583 ve 38.1750 bulunmuştur. S-dönüşümü görüntülerine göre enlem değerleri 38.0820 ve 38.1737, boylam değerleri 38.8583 ve 38.9917 bulunmuştur.



Şekil 3.16 2. bölgenin $Boylam = 38.925$ ve $Enlem = 38.1213$ noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü

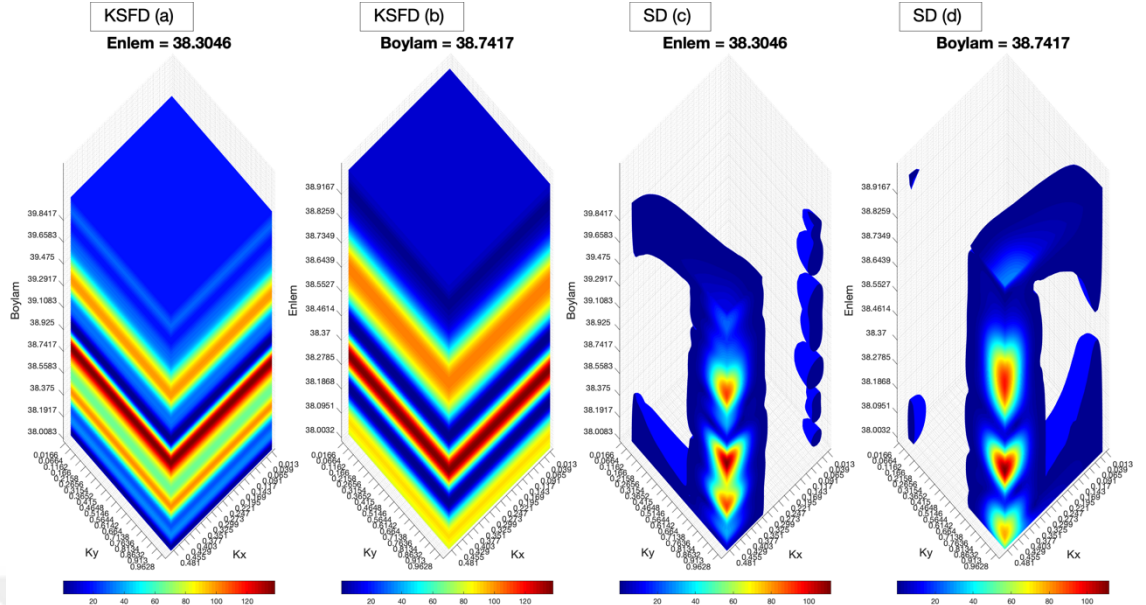
Şekil 3.17' de 3. bölgeye ait zaman-frekans görüntüleri bulunmaktadır. 3. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.1213 ve 38.2785, boylam değerleri 38.0083 ve 38.4750 bulunmuştur. S-dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.1213 ve 38.2785, boylam değerleri 38.3083 ve 38.15083 bulunmuştur.



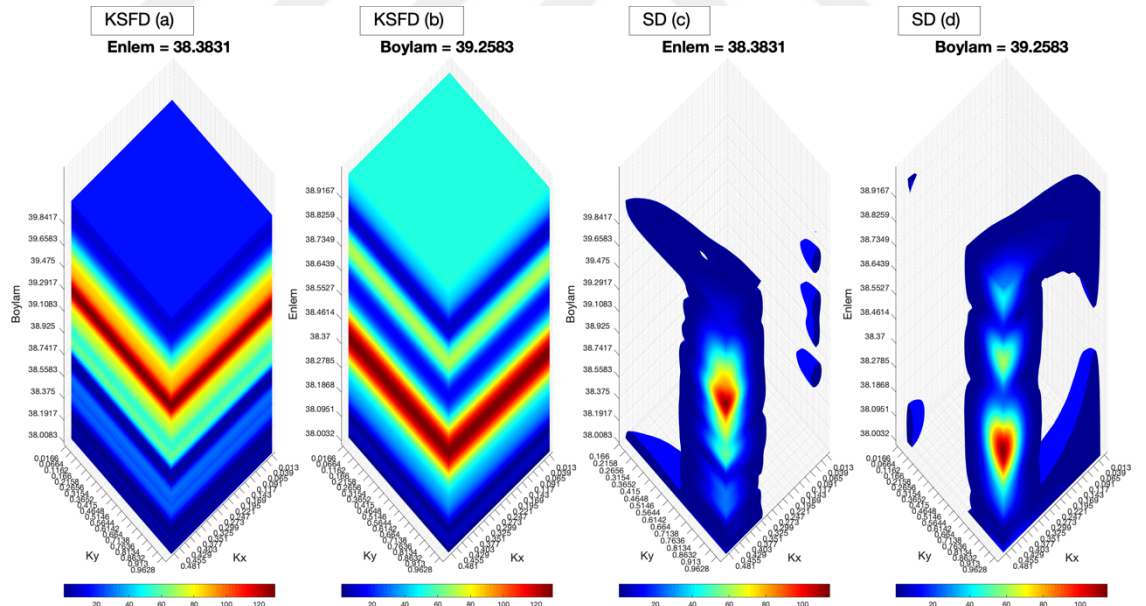
Şekil 3.17 3. bölgenin $Boylam = 38.3917$ ve $Enlem = 38.1999$ noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü

4. bölgenin zaman-frekans dönüşümleri şekil 3.18’ de verilmiştir. Buna göre yapının bulunduğu enlem ve boylam değerleri; kısa süreli Fourier dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.2654 ve 38.3439, boylam değerleri 38.6583 ve 38.8083’ dir. S-dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.2654 ve 38.3439, boylam değerleri 38.6583 ve 38.8083 bulunmuştur.

5. bölgenin zaman-frekans dönüşümü görüntüleri şekil 3.19’ da gösterilmiştir. 5. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü ile hesaplanan sonucuna göre enlem değerleri 38.3177 ve 38.4353, boylam değerleri 39.1583 ve 39.3583 bulunmuştur. S-dönüşümü sonucuna göre enlem değerleri 38.3177 ve 38.4483, boylam değerleri 39.1583 ve 39.3750 bulunmuştur.

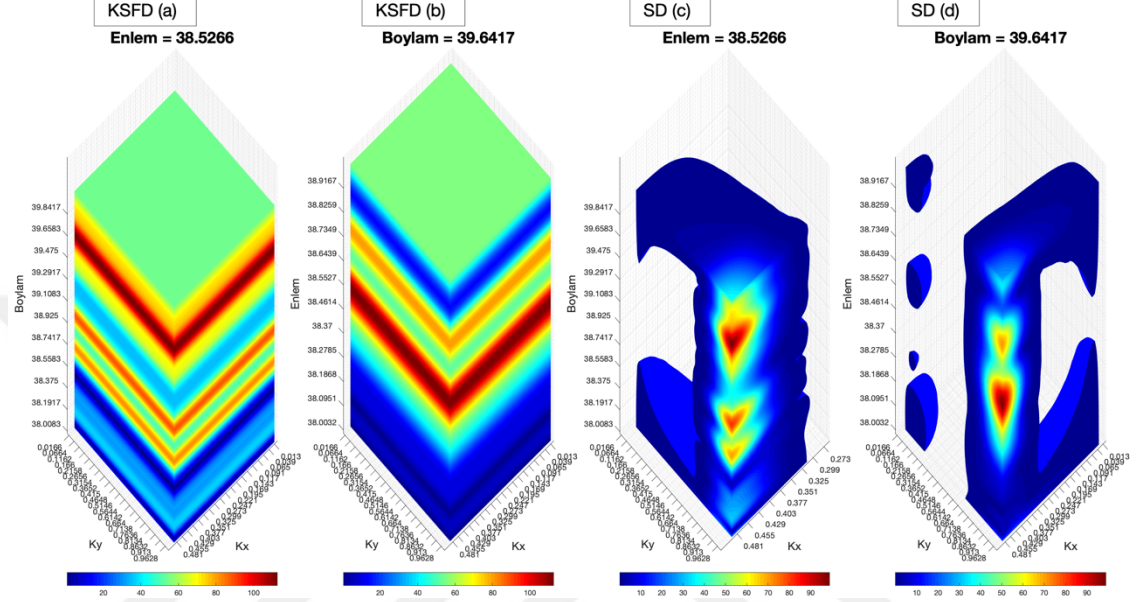


Şekil 3.18 4. bölgenin $Boylam = 38.7417$ ve $Enlem = 38.3046$ noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü



Şekil 3.19 5. bölgenin $Boylam = 39.2583$ ve $Enlem = 38.3831$ noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) Boylam ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) Enlem ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) Boylam ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) Enlem ortamında S-dönüşümü görüntüsü

Şekil 3.20' de 7. bölgenin zaman-frekans dönüşümü sonucunda elde edilen üç boyutlu görüntüleri verilmiştir. Kısa süreli Fourier dönüşümü sonucu enlem değerleri 38.4745 ve 38.5918, boylam değerleri 38.5583 ve 39.7417 bulunmuştur. S-dönüşümü sonucu enlem değerleri 38.4614 ve 38.5918, boylam değerleri 39.5417 ve 39.7417 bulunmuştur.



Şekil 3.20 7. bölgenin *Boylam* = 39.6417 ve *Enlem* = 38.5266 noktasında üç boyutlu görüntüleri; a) *Boylam* ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, b) *Enlem* ortamında Kısa süreli Fourier dönüşümü görüntüsü, c) *Boylam* ortamında S-dönüşümü görüntüsü d) *Enlem* ortamında S-dönüşümü görüntüsü

Elde edilen sentetik veriye ve gerçek veriye ait iki boyutlu zaman-frekans dönüşümü sonuçları, Bölüm 4' te çizelgeler halinde verilecektir.

4. SONUÇLAR VE YORUM

Bu tez çalışmasında iki-boyutlu zaman-frekans dönüşümlerinden biri olan S-dönüşümü, karşılaştırma yapabilmek amacıyla kısa süreli Fourier, Gabor ve Dalgacık dönüşümleri ile birlikte MATLAB programlama dili kullanılarak kodlanmıştır. Geliştirilen iki-boyutlu dönüşüm kodları sentetik gravite modeli üzerinde test edilmiştir. Sentetik gravite modelindeki yapıların konumları başarıyla tespit edilmiştir. Sonraki aşamada uydu görüntüsünden elde edilen ve 38° - 39° K ve 38° - 40° D koordinatlı alan içerisine düşen serbest hava gravite anomali verisine uygulanmış ve zaman-frekans dönüşümleriyle elde edilen anomaliler konum bakımından yorumlanmıştır.

Yapıların konumları belirlenirken incelenen kesite ait ölçek (*colorbar*) değerleri baz alınmıştır. Anomalinin sınırları belirlenirken, ölçekteki maksimum genlik değerinin yarısının altına düşmeyecek ara bir değer seçilmiştir. Seçilen değerlerin karşılık geldiği konum eksenine (x-y veya enlem-boylam) bakılarak yapıların bulunduğu aralıklar belirlenmiştir. Genişlikler, belirlenen aralıklar arasında kalan mesafenin km cinsine çevrilmesi yoluyla hesaplanmıştır.

Sentetik model üzerinde yapılan testlerde dalgacık ve Gabor dönüşümlerinin kısa süreli Fourier ile S-dönüşümlerine kıyasla daha az doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür. Yapıların konumlarını en başarılı tespit eden zaman-frekans dönüşümlerinin kısa süreli Fourier dönüşümü ile S-dönüşümü olduğu sonucuna varılmış, gerçek veriye ait yapıların genişlikleri bu iki dönüşüm baz alınarak belirlenmiştir. Dalgacık ve Gabor dönüşümleri incelenen yapıya yakın başka bir anomaliden diğer dönüşümlere kıyasla daha çok etkilendikleri için istenilen sonucu veremediği görülmüştür.

İleriki çalışmalarda, 3B kesitlerde görülmekte olan dalgasayıları ile yapıların derinliklerinin ilişkilendirilmeye çalışılması ve derinliğin hesaplanmasını kolaylaştırabilecek bir bağıntı geliştirilmesi hedeflenmektedir.

4.1 Sentetik Model Verilerinin Yorumu

Sentetik gravite modelinin zaman frekans dönüşümü sonuçları yapı numaralarına göre çizelge oluşturularak verilmiştir. 1 numaralı yapının gerçek yeri x yönünde 5-15 km ve y yönünde 85-95 km arasındadır. Derinliği 2-5 km aralığında ve boyutları 10×10 km' dir. Bu yapı için zaman – frekans dönüşümleri ile hesaplanan değerler çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 1 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	5-15	85-95	10×10
<i>GD</i>	5-16	85-96	11×11
<i>DD</i>	7-17	85-95	10×10
<i>SD</i>	5-15	85-95	10×10

Burada 1 numaralı yapının boyutları gerçeğe en yakın olarak kısa süreli Fourier dönüşümü ve S-dönüşümü ile hesaplanmıştır. 1 numaralı yapının gerçek boyutlarının hesaplanması konusunda Gabor ve Dalgacık dönüşümleri kısa süreli Fourier ve S-dönüşümlerine kıyasla başarısızdır. Gabor dönüşümü ile yapının sınırları doğru belirlenememiş olup Dalgacık dönüşümü ile de x yönü değerleri sapmalı olarak belirlenebilmiştir. 2 numaralı yapının gerçek derinliği 4-7 km aralığındadır ve gerçek boyutları 15×15 km' dir. Bu yapı için zaman–frekans dönüşümleri ile hesaplanan değerler çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 2 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	20-35	65-80	15×15
<i>GD</i>	20-35	63-81	15×22
<i>DD</i>	21-36	65-80	15×15
<i>SD</i>	20-35	65-80	15×15

Elde edilen bu bilgilere göre yapı konumunu en doğru hesaplayan dönüşüm kısa süreli Fourier ve S-dönüşümüdür. Gabor dönüşümünün 2 numaralı yapı civarındaki diğer anomalilerden etkilendiği ve bu gerekçe ile yapı y yönünde doğru konumlandırımadığı görülmektedir. 3 numaralı yapının gerçek boyutları 25×25 km' dir ve yüzeyden derinliği

7-12 km aralığındadır. Bu yapı için zaman–frekans dönüşümleri ile hesaplanan değerler çizelge 4.3’ te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 3 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	37-62	37-62	25×25
<i>GD</i>	38-62	38-62	24×24
<i>DD</i>	40-65	37-62	25×25
<i>SD</i>	37-62	37-62	25×25

Yukarıda verilen çizelgeye göre kısa süreli Fourier ve S-dönüşümleri yapı boyutlarını ve konumunu doğru hesaplamıştır. Dalgacık dönüşümü, x yönünde yapının konumunu sapma ile hesaplamıştır. Gabor dönüşümü yapıyı olduğundan daha küçük boyutlu hesaplamasının nedeninin 3 numaralı yapının diğer yapılardan daha derinde bulunması olduğu düşünülmektedir. 4 numaralı yapının derinliği 4-7 km aralığındadır ve gerçek boyutları 15×15 km dir. 4 numaralı yapı için zaman–frekans dönüşümleri ile hesaplanan değerler çizelge 4.4’ te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 4 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	65-80	20-35	15×15
<i>GD</i>	63-81	20-35	22×15
<i>DD</i>	67-82	20-35	15×15
<i>SD</i>	65-80	20-35	15×15

Yukarıdaki bilgilere göre yapının boyutlarını ve konumunu en doğru şekilde kısa süreli Fourier ve S-dönüşümü hesaplamıştır. 2 numaralı yapıda olduğu gibi bu yapıda Gabor ve dalgacık dönüşümleri, yapıya yakın başka anomalilerin olması sebebiyle yapı boyutlarını ve konumunu daha az doğrulukla hesaplamıştır.

5 numaralı yapının gerçek yeri x yönünde 85-95 km ve y yönünde 5-15 km arasındadır. Derinliği 2-5 km aralığında ve boyutları 10×10 km’ dir. Bu yapı için zaman–frekans dönüşümleri ile hesaplanan değerler çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Zaman–frekans dönüşümlerine göre 5 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>X (km)</i>	<i>Y (km)</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	85-95	5-15	10×10
<i>GD</i>	84-95	6-15	11×11
<i>DD</i>	87-97	5-15	10×10
<i>SD</i>	85-95	5-15	10×10

5 numaralı yapının bulunduğu yer ve boyutları en doğru şekilde kısa süreli Fourier ve S-dönüşümleri ile hesaplanmıştır. Dalgacık ve Gabor dönüşümlerinin bu yapı konumunun bulunmasında ve boyutlarının hesaplanmasında daha başarısız olduğu görülmüştür. 6 numaralı yapının gerçek uzunluğu 60.81 km’ dir ve derinliği 1-5 km arasındadır. 6 numaralı yapının zaman–frekans dönüşümleri ile hesaplanan derinlik ve uzunluk değerleri çizelge 4.6’ da verilmiştir. Yapının gerçek derinliğine en yakın sonucu kısa süreli Fourier ve S-dönüşümleri vermiştir. 6 numaralı yapının gerçek boyutları en doğru şekilde S-dönüşümü ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6 Zaman – frekans dönüşümlerine göre 6 nolu yapı bilgileri

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Uzunluk (km)</i>
<i>KSFD</i>	60.10
<i>GD</i>	56.56
<i>DD</i>	59.39
<i>SD</i>	60.81

1-5 numaralı yapılarda kısa süreli Fourier ve S-dönüşümlerinin çevre anomalilerden daha az etkilendiği ve dolayısıyla dalgacık ve Gabor dönüşümlerinden daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu yapıların sonuçları ile 6 numaralı yapının sonuçları birlikte değerlendirildiğinde S-dönüşümünün en başarılı sonucu verdiği görülmüştür.

4.2 Gerçek Arazi Verilerinin Yorumu

Uydu görüntüsünden hesaplanan ve Malatya-Adıyaman bölgesine ait serbest hava anomalisi verisinin zaman-frekans dönüşümü sonuçları şekil 3.15b’ de işaretlenen bölgeler için çizelge 4.7 – 4.11’ de verilmiştir. Yapı genişlikleri incelenen anomali sınırlarına tekabül eden enlem ve boylam değerlerinin km cinsinden değerlere çevrilmesi ile hesaplanmıştır.

2. bölgenin özelliklerini belirleyebilmek için merkezi, enlem-boylam cinsinden (38.1213,38.9250) olan bir nokta seçilmiş ve bu noktadaki anomaliye bakılarak bu bölgenin özellikleri zaman-frekans dönüşümleri ile belirlenmiştir. 2. Bölgenin zaman frekans dönüşümleri ile belirlenen özellikleri çizelge 4.7' de verilmiştir.

Çizelge 4.7 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 2. bölgeye ait bilgiler

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	38.0820 - 38.1737	38.8583 - 38.9917	10.1966 - 14.8334
<i>SD</i>	38.0820 - 38.1737	38.8583 - 38.9917	10.1966 - 14.8334

2. bölgenin kısa süreli Fourier ve S-dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.0820 ve 38.1737, boylam değerleri 38.8583 ve 38.1750 bulunmuştur. Bölgenin genişliklerinin sırası ile enlem ve boylam yönünde yaklaşık 10.2 km- 14.8 km olduğu düşünülmektedir.

3. bölgenin özelliklerini belirleyebilmek için merkezi, enlem-boylam cinsinden (38.1999,38.3917) olan bir nokta seçilmiş ve bu noktadaki anomaliye bakılarak bu bölgenin özellikleri zaman-frekans dönüşümleri ile belirlenmiştir. 3. Bölgenin zaman frekans dönüşümleri ile belirlenen özellikleri çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 3. bölgeye ait bilgiler

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	38.1213 - 38.2785	38.3083 - 38.4750	17.4798 - 18.5362
<i>SD</i>	38.1213 - 38.2785	38.3083 - 38.5083	17.4798 - 22.239

3. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.1213 ve 38.2785, boylam değerleri 38.0083 ve 38.4750 bulunmuştur. S-dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.1213 ve 38.2785, boylam değerleri 38.3083 ve 38.5083 bulunmuştur. Bölgenin genişliklerinin sırası ile enlem ve boylam yönünde yaklaşık 17.5 km- 22.2 km olduğu düşünülmektedir.

4. bölgenin özelliklerini belirleyebilmek için merkezi, enlem-boylam cinsinden (38.3046,38.7417) olan bir nokta seçilmiş ve bu noktadaki anomaliye bakılarak bu

bölgenin özellikleri zaman-frekans dönüşümleri ile belirlenmiştir. 4. Bölgenin zaman frekans dönüşümleri ile belirlenen özellikleri çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 4. bölgeye ait bilgiler

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	38.2654 - 38.3439	38.6583 - 38.8083	8.7288 - 16.6792
<i>SD</i>	38.2654 - 38.3439	38.6583 - 38.8083	8.7288 - 16.6792

4. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü ve S-dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.2654 ve 38.3439, boylam değerleri 38.6583 ve 38.8083 bulunmuştur. Bölgenin genişliklerinin sırası ile enlem ve boylam yönünde yaklaşık 8.7 km - 16.6 km olduğu düşünülmektedir.

5. bölgenin özelliklerini belirleyebilmek için merkezi, enlem-boylam cinsinden (38.3831,39.2583) olan bir nokta seçilmiş ve bu noktadaki anomaliye bakılarak bu bölgenin özellikleri zaman-frekans dönüşümleri ile belirlenmiştir. 5. Bölgenin zaman frekans dönüşümleri ile belirlenen özellikleri çizelge 4.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 5. bölgeye ait bilgiler

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	38.3177 - 38.4353	39.1583 - 39.3583	13.0765 - 22.239
<i>SD</i>	38.3177 - 38.4483	39.1583 - 39.3750	14.5221 - 24.0959

5. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.3177 ve 38.4353, boylam değerleri 39.1583 ve 39.3583 bulunmuştur. S-dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.3177 ve 38.4483, boylam değerleri 39.1583 ve 39.3750 bulunmuştur. Bölgenin genişliklerinin sırası ile enlem ve boylam yönünde yaklaşık 14.5 km- 24.1 km olduğu düşünülmektedir.

7. bölgenin özelliklerini belirleyebilmek için merkezi, enlem-boylam cinsinden (38.5266,39.6417) olan bir nokta seçilmiş ve bu noktadaki anomaliye bakılarak bu bölgenin özellikleri zaman-frekans dönüşümleri ile belirlenmiştir. 7. bölgenin zaman frekans dönüşümleri ile belirlenen özellikleri çizelge 4.11’ de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Zaman - frekans dönüşümlerinden hesaplanan 7. bölgeye ait bilgiler

<i>Dönüşüm İsmi</i>	<i>Enlem</i>	<i>Boylam</i>	<i>Genişlik (km)</i>
<i>KSFD</i>	38.4745 - 38.5918	39.5583 - 39.7417	13.0432 - 20.3931
<i>SD</i>	38.4614 - 38.5918	39.5417 - 39.7417	14.4998 - 22.239

7. bölgenin kısa süreli Fourier dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.4745 ve 38.5918, boylam değerleri 38.5583 ve 39.7417 bulunmuştur. S-dönüşümü ile hesaplanan konumuna göre enlem değerleri 38.4614 ve 38.5918, boylam değerleri 39.5417 ve 39.7417 bulunmuştur. Bölgenin genişliklerinin sırası ile enlem ve boylam yönünde yaklaşık 14.5 km – 22.2 km olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akansu, A.N. and Haddad, R. A. 1992. Multiresolution Signal Decomposition: Transforms, Subbands, and Wavelets. Boston: MA: Academic Press.
- Allen, J.B. 1977. Short term spectral analysis, synthesis, and modification by discrete Fourier transform. Speech, Signal Processing, ASSP-25, 235-238.
- Anonymous. 2021. Web Sitesi: <https://topex.ucsd.edu/> (https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi) Eriřim Tarihi: 6/01/2021
- Antoine, J. P., Carrette, P., Murenzi, R. and Piette, B. 1993. Image analysis with two-dimensional continuous wavelet transform. Signal processing, 3(31), 241-272.
- Başokur, Ahmet T. 2007. Spektral Analiz ve Sayısal Süzgeçler. Ankara: Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:8.
- Basokur, A. T., Dikmen, U. and Tokgoz, O. E. 2003. Time-frequency representation of strong-motion records for damage appraisal: examples from the Düzce earthquake (Turkey). Near Surface Geophysics,1(2), 95-101.
- Bastiaans, M. J. and Geilen, M. C. 1996. On the discrete Gabor transform and the discrete Zak transform. Signal processing, 49(3), 151-166.
- Boyce, W. E., DiPrima, R. C. and Meade, D. B. 1992. Elementray Differential Equations And Boundary Value Problems (Vol. 9 b.). New York: Wiley.
- Carmona, R., Hwang, W.L. and Torresani, B. 1998. Practical Time-Frequency Analysis: Gabor and wavelet transforms, with an implementation in S. Academic Press.
- Ceylan, M., Ucan, O. N., Özbay, Y., Jennane R., Aufort, G. and Benhamou, C. L. 2019. Comparison of discrete wavelet transform and complex wavelet transform in hybrid skeletonization based on cvann. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, 2(7), 27-51.
- Chakraborty, A. and Okaya, D. 1995, November - December. Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods. Geophysics, No. 6(Vol. 60), 1906 - 1916.
- Cohen, M. X. 2019. A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis. NeuroImage(199), 81-86.
- Daubechies, I. 1992. Ten lectures on wavelets. : Society for industrial and applied mathematics.

- Gibson, P. C., Lamoureux, M. P. and Margrave, G. F. 2006. Letter to the Editor: Stockwell and Wavelet Transforms. *The Journal of Fourier Analysis and Applications*, Volume 12(Issue 6), 712 - 721.
- Grinsted, A., Moore, J. and Jevrejeva, S. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(5/6), 561-566.
- Kumar, P. and Foufoula-Georgiou, E. 1997. Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of geophysics*, 35(4), 385-412.
- Ladan J. 2014. An Analysis of Stockwell Transforms, with Applications to Image Processing. Yüksek Lisans Tezi. University of Waterloo, Applied Mathematics, 62, Waterloo, Ontario, Canada.
- Leavey, C. M., James, M. N., Summerscales, J. and Sutton, R. 2003. An introduction to wavelet transforms: a tutorial approach. (Cilt 45). *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*.
- Liu, CL. 2010, February 23. A Tutorial of the Wavelet Transform.
- Lukacs, E. and King, E.P. 1954. A Property of Normal Distribution. *The Annals of Mathematical Statistics*, 25(2), 389-394.
- Mansinha, L., Stockwell, R. G. and Lowe, R. P. 1997. Pattern analysis with two-dimensional spectral localisation: Applications of two-dimensional S transforms. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 239(1-3), 286-295.
- Margrave, G. F. 1991. CREWES Toolbox Version: 1991, <https://www.crewes.org/ResearchLinks/FreeSoftware/>. CREWES MATLAB Software Library (CMSL), 12, 1-45.
- Math Works. 1992. MATLAB reference guide. : Math Works, Incorporated.
- Min Z., Wenjing C., Tao W. and Xianyu, S. 2013. Application of two-dimensional S-Transform in fringe pattern analysis. *Optics and Lasers in Engineering*, 51(10), 1138-1142.
- Moukadem, A., Bouguila, Z., Abdeslam, D. O. and Dieterlen, A. 2014. Stockwell transform optimization applied on the detection of split in heart sounds. *Signal Processing Conference (EUSIPCO) (s. 2015-2019)*. Proceedings of the 22nd european: IEEE.
- Nixon, M. and Aguado, A. S. 2012. Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision.

- Oz, İ., Oz, C. and Yumuşak, N. 2001. Image Compression Using 2-D Multiple-Level Discrete Wavelet Transform (DWT). Sakarya University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering.
- Pinnegar, C. R. and Mansinha, L. 2003a. The bi-Gaussian S-transform. *SIAM Journal on Scientific Computing*, 24(5), 678-1692.
- Pinnegar, C. R. and Mansinha, L. 2003b. A Method of Time-Time Analysis: The TT Transform. *Digital Signal Processing*(13), 588 - 603. doi:10.1016/S1051-2004(03)00022-8
- Pinnegar, C. R. and Mansinha, L. 2003c. The S-transform with window of arbitrary and. *Geophysics*, 68(1), 381-385.
- Pinnegar, C. R. and Mansinha, L. 2004. Time-local Fourier analysis with a scalable, phase-modulated analyzing function: the S-transform with a complex window. *Signal Processing*, 84(7), 1167-1176.
- Portnoff, M. R. 1978. Time-scale modification of speech based on short-time Fourier analysis. Doctor of Science, Massachusetts Institute of Technology, Electrical engineering and computer sciences, Massachusetts.
- Rohit, A., Madan, L. S. and Nidhika, B. 2011. An Algorithm for Image Compression Using 2D Wavelet Transform [J]. *International Journal of Engineering Science & Technology*, 3(4), 2758-2764.
- Schmeelk, J. 2002. Wavelet transforms on two-dimensional images. 36(7–8), s. 939-948.
- Sejdić, E., Djurović, I. and Jiang, J. 2009. Time–frequency feature representation using energy concentration: An overview of recent advances. . *Digital signal processing*, 19(1), 153-183.
- Soendergaard, P. 2009. An Efcient Algorithm for the Discrete Gabor Transform using full length. SAMPTA '09 (s. General session.). Marseille, France: fhal-00453176.
- Stockwell, R. G., Mansinha, L. and Lowe, R. P. 1996. Localization of the Complex Spectrum: The S Transform. *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 44(No. 4), 998-1001.
- Stockwell, R. G. 2007. A basis for efficient representation of the S-transform. *Digital Signal Processing*(17), 371–393.
- Szmajda, M., Gorecki, K. and Mroczka, J. 2010. Gabor Transform, SPWVD, Gabor-Wigner Transform and Wavelet Transform - Tools For Power Quality Monitoring. *Meteorology and Measurement Systems*(No. 3), 383 - 396.
- Tabassum, F., Islam, M. I. and Amin, M. R. 2015-May. A simplified image compression technique based on Haar Wavelet Transform. In 2015 International Conference

on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT) (s. 1-9). : IEEE.

Tangborn, A. 2010. Wavelet Transforms in Time Series Analysis. Goddard Space Flight Center: Global Modeling and Assimilation Office.

Valens, C. 1999. A Really Friendly Guide to Wavelets.

Viswanathan, P. and Venkata Krishna, P. 2010. Fingerprint enhancement and compression method using Morlet wavelet. International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering, 3(4), 261-268.

Wallisch, P., Lusignan, M.E., Benayoun M.D., Baker, T.I., Dickey, A.S. and Hatsopoulos N.G. 2014. Wavelets, MATLAB for Neuroscientists. Academic Press, doi:10.1016/B978-0-12-383836-0.00013-8.

Wang Y.H. 2010. The tutorial: S transform. Graduate Institute of Communication Engineering, National Taiwan University, Taipei.

Wang, Y. and Orchard, J. 2009a. Fast discrete orthonormal Stockwell transform. SIAM Journal on Scientific Computing, 31(5), 4000-4012.

Wang, Y. and Orchard, J. 2009b. On the use of the stockwell transform for image compression. International Society for Optics and Photonics, Image Processing: Algorithms and Systems VII(vol. 7245), 724504.

Wang, Y. 2011. Efficient Stockwell Transform with Applications to Image Processing. Doktora Tezi. University of Waterloo, Applied Mathematics, 112, Waterloo, Ontario, Canada.

Yao, J. 1993, April. Complete Gabor transformation for signal representation. IEEE Transactions on image processing, 2(2), 152-159.

Zhong, M., Wenjing, C., Wang, T. and Su, X. 2013. Application of two-dimensional s-transform in fringe pattern analysis. Optics and Lasers in Engineering 51, 1138-1142.

Zhong, M., Chen, W. and Su, X. 2014. A comparison of one and two-dimensional s-transform in fringe pattern demodulation. Optics and Lasers in Engineering 55, 212-220.

Zhong, M., Chen, F., Xiao, C. and Zhu, J. 2017. Two-dimensional s-transform profilometry with an asymmetry gaussian window. Optics Communications 402, 430-436.