

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GRAVİTE YÖNTEMİNDE DALGACIK
(WAVELET) DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

Fikret DOĞRU

Aralık, 2015

İZMİR

GRAVİTE YÖNTEMİNDE DALGACIK (WAVELET) DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Fikret DOĞRU

Aralık, 2015

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FİKRET DOĞRU, tarafından **YRD. DOÇ. DR. PETEK SINDIRGI** yönetiminde hazırlanan **“GRAVİTE YÖNTEMİNDE DALGACIK (WAVELET) DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Yrd. Doç. Dr. Petek SINDIRGI

Yönetici



Doç. Dr. Cem KINCAL

Jüri Üyesi



Yrd. Doç. Dr. Emre Timur

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunu öneren, tez çalışmam boyunca beni yönlendiren ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Petek SINDIRGI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam sırasında takıldığım programlama aşamasında yardımcı olan Arş. Gör. Dr. İlknur KAFTAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Emre ÇEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında, Dr. M. Özgü ARISOY ve Doç Dr. Ünal DİKMEN'nin hazırladıkları programın bir kısmını kullandığım için kendilerine teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteklerini esirgemeyen canım aileme minnettarım. Ayrıca tez sürecinde bana anlayış gösteren ve desteğini hiç esirgemeyen eşim Cansu DOĞRU'ya teşekkür ederim.

Fikret DOĞRU

GRAVİTE YÖNTEMİNDE DALGACIK (WAVELET) DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

ÖZ

Bu tez kapsamında gravite verilerinde dalgacık dönüşümü ile süreksizliklerin belirlenmesi, yapı sınırlarının saptanması, sığ ve derin yapılardan kaynaklanan etkilerin ayrımlanabilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla bir ve iki boyutlu veriler analiz için kullanılmıştır. Başlangıçta dalgacık dönüşümünün esasları, türleri anlatılmış ve Fourier dönüşümü ile kıyaslaması yapılmıştır. Sonrasında uygulamalar ile dalgacık dönüşümünün sonuçları irdelenmiştir.

Öncelikle kuramsal bir boyutlu verilerde dalgacık dönüşümü denenmiştir. Bir boyutlu sürekli sinüzoidal dalgacığın içerisine eklenen süreksizliğin dalgacık analizi ile tespiti başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sonrasında Potensoft programı vasıtasıyla farklı derinlik, yoğunluk ve boyutlarda oluşturulan iki boyutlu prizmalardan elde edilen sentetik gravite anomalilerine dalgacık dönüşümü, yönlü türevler (x,y,z yönünde), analitik uzanım (aşağı analitik uzanım) ve sınır analizi (tilt açısı, tilt türevi ve teta map) yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler sonucunda iki boyutlu prizmaların yerleri ve sınırları gürültüsüz verilerde çok iyi bir şekilde tespit edilebilmiştir. Yöntemlerin sonuçları aralarında karşılaştırılmıştır.

Ayrıca sentetik verilere ortalaması 0, varyansı yüzde 4 olan beyaz Gauss gürültüsü eklenmiş ve aynı yöntemler uygulanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Yer altındaki prizmalar farklı derinlikte ve yoğunlukta, tek ve iki tane olduğunda gürültülü ve gürültüsüz analiz sonuçları başarıyla, dört farklı prizmanın özellikle gürültülü sonuçlarında yöntemler bu karmaşık yapıyı saptamada yeterli olamamıştır.

Anahtar kelimeler: Dalgacık dönüşümü, sınır analizi, Fourier dönüşümü, sentetik gravite anomalisi.

WAVELET TRANSFORM APPLICATIONS IN GRAVITY METHOD

ABSTRACT

Within the scope of this thesis identification of discontinuities, determining of structure boundary and differentiated impacts resulting from shallow and deep structure was targeted by using wavelet transform in gravity data. For this purpose, one and two-dimensional data were used for analysis. Initially, fundamentals and types of wavelet transform were described and compared with Fourier transform. After results were analyzed with the application of wavelet transform.

Firstly, wavelet transform tested in synthetic one-dimensional data. Determination of discontinuity which added into the a one-dimensional continuous sinusoidal ripples were successfully carried out by wavelet analysis. After wavelet analysis, directional derivatives, analytical extension and boundary analysis methods were applied on pseudogravity anomalies of two dimensional prisms which have different depths, densities and sizes generated via Potensoft program. The locations and boundaries of the prisms could be detected succesfully as a result of transform. Outcomes were compared using the traditional methods. In addition, noisy synthetic data were analyzed by using both traditional and wavelet transform and the results were compared.

In addition, 4 percent of white gaussian noise with a mean of 0 was added to the synthetic data and comparisons were made by applying the same methods. While one and two prism models at different depths and density, their noisy and noise free analysis results were successful, the results of four noisy different prism model could not be analyzed very well because of this complicated structure.

Keywords: Wavelet transform, boundary analysis, Fourier transform, synthetic gravity anomaly.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
BÖLÜM BİR- GİRİŞ.....	1
BÖLÜM İKİ- KURAMSAL GELİŞİM VE YÖNTEM	4
2.1 Dalgacık Yaklaşımı.....	4
2.2 Fourier Dönüşümü.....	6
2.2.1 Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)	7
2.2.2 Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD).....	9
2.2.3 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD)	10
2.3 Dalgacık Dönüşümü	12
2.3.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü	13
2.3.1.1 Ölçek.....	14
2.3.1.2 Öteleme	15
2.3.2 Ayrık Dalgacık Dönüşümü	15
2.3.3 Durağan Dalgacık Dönüşümü	19
2.4 İki Boyutlu Dalgacık Dönüşümü	20
2.5 Dalgacık ve Fourier Dönüşümlerinin Karşılaştırılması	24
2.6 Dalgacık Ailesi	27
2.7 Yönlü Türevler ve Düşey Türev Metodu	32
2.8 Sınır Analizi	34

2.9 Sınır Belirleme Süzgeçleri.....	36
2.10 Analitik Uzanımlar.....	38
2.10.1 Aşağı Analitik Uzanım.....	39
BÖLÜM ÜÇ- KURAMSAL UYGULAMALAR.....	41
3.1 Tek Boyutlu Veriler Üzerindeki Çalışmalar	41
3.2 İki Boyutlu Veriler Üzerindeki Çalışmalar	44
3.2.1 Tek Prizma Örneği.....	44
3.2.2 Gürültü Eklenmiş Tek Prizma Örneği	52
3.2.3 İki Prizma Örneği	59
3.2.4 Gürültü Eklenmiş İki Prizma Örneği.....	66
3.2.5 Dört Prizma Örneği	73
3.2.6 Gürültü Eklenmiş Dört Prizma Örneği	80
BÖLÜM DÖRT- TARTIŞMA VE SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR.....	89

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Dalgacık dönüşümü.....	4
Şekil 2.2 Dalgacık dönüşümünün uygulama alanları.....	5
Şekil 2.3 (a) 10, 50 ve 100 Hz'lik sinüslerin toplamı (b) 10, 50 ve 100 Hz frekans bileşenli sinüzoidalın Fourier dönüşümü sonucu.	7
Şekil 2.4 Periyodik bir sinyalin Fourier Dönüşümü.....	10
Şekil 2.5 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü	12
Şekil 2.6 Dalgacık ve ötelenmiş dalgacık fonksiyonu.	15
Şekil 2.7 ADD katsayılarının elde edilmesi.	17
Şekil 2.8 Dalgacık ayrışım ağacı.	18
Şekil 2.9 Durağan dalgacık dönüşümü filtreleri.....	20
Şekil 2.10 1-B sinyali durağan dalgacık dönüşümü ile ayrıştırma.....	20
Şekil 2.11 Dört veri noktasının 2-D dalgacık dönüşümünün gösterimi.....	21
Şekil 2.12 İki boyutlu dalgacık dönüşümünün filtre bankası ile gerçeklemesi (a) ayrık dalgacık dönüşümü (b) ters ayrık dalgacık dönüşümü (c) durağan dalgacık dönüşümü ve ters durağan dalgacık dönüşümü.	22
Şekil 2.13 İki boyutlu dalgacık analizi (a) dikdörtgen içeren bir görüntü (b) dikdörtgen içeren görüntünün iki boyutlu dalgacık ayrıştırılması.....	23
Şekil 2.14 Fourier baz fonksiyonlarının zaman-frekans düzlemini kaplaması.	24
Şekil 2.15 Daubechies dalgacık baz fonksiyonunun zaman-frekans düzlemini kaplaması.....	25
Şekil 2.16 5, 25 ve 100 Hz'lik bileşenleri içeren sinüzoidal.....	25
Şekil 2.17 5, 25 ve 100 Hz'lik bileşenleri içeren sinüzoidalın Fourier dönüşümü sonucu.....	26
Şekil 2.18 Analiz edilen sinyalin ayrık ve sürekli dalgacık dönüşümü sonuçları.	26
Şekil 2.19 Haar dalgacık fonksiyonu ve ölçek fonksiyonu.	27
Şekil 2.20 Daubechies dalgacıkları.	28
Şekil 2.21 Biortogonal dalgacıkları ayrıştırma ve yeniden oluşturma.	29
Şekil 2.22 Coiflet dalgacıkları.....	29
Şekil 2.23 Symlet dalgacıkları.....	30
Şekil 2.24 Morlet dalgacık fonksiyonu.	30

Şekil 2.25 Meksika şapkası dalgacık fonksiyonu.....	31
Şekil 2.26 Meyer dalgacık ve ölçek fonksiyonu.	31
Şekil 2.27 Yatay gradyan haritası üzerinde maksimum noktanın bulunması için sekiz komşu noktanın konumu	35
Şekil 2.28 P noktasının s yüzeyinde oluşturduğu potansiyel.....	39
Şekil 3.1 İki süreksizlik barındıran sinüzoidal dalga.	42
Şekil 3.2 Farklı pencerelerle kısa zamanlı Fourier dönüşümü sonuçları.	43
Şekil 3.3 Sürekli dalgacık dönüşümü sonucu.	43
Şekil 3.4 Ayırık dalgacık dönüşümü sonuçları (3 seviye).	44
Şekil 3.5 Tek prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.	45
Şekil 3.6 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi ve x, y, z yönlerinde 2. türevleri.	46
Şekil 3.7 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.	47
Şekil 3.8 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).....	48
Şekil 3.9 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).....	49
Şekil 3.10 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).....	50
Şekil 3.11 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).....	51
Şekil 3.12 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi, beyaz gaussian gürültüsü eklenmiş hali ve yönlü 2. türev sonuçları.....	53
Şekil 3.13 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.....	54
Şekil 3.14 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	55
Şekil 3.15 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	56
Şekil 3.16 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	57

Şekil 3.17 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	58
Şekil 3.18 İki prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.	59
Şekil 3.19 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi ve x, y, z yönlerinde 2. türevleri.	60
Şekil 3.20 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.	61
Şekil 3.21 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	62
Şekil 3.22 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	63
Şekil 3.23 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	64
Şekil 3.24 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	65
Şekil 3.25 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü) ve yönlü 2. türev sonuçları.	67
Şekil 3.26 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.	68
Şekil 3.27 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	69
Şekil 3.28 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	70
Şekil 3.29 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).	71
Şekil 3.30 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).	72
Şekil 3.31 Dört prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.	73
Şekil 3.32 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi ve yönlü 2. türev sonuçları. ...	74
Şekil 3.33 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.	75

Şekil 3.34 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).....	76
Şekil 3.35 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).....	77
Şekil 3.36 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).....	78
Şekil 3.37 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).....	79
Şekil 3.38 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü) ve yönlü 1. türev sonuçları.	81
Şekil 3.39 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.....	82
Şekil 3.40 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (4. seviye).	83
Şekil 3.41 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (5. seviye).	84
Şekil 3.42 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (4. seviye).	85
Şekil 3.43 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (5. seviye).	86

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1 Frekans ile çözünürlük ilişkisi.....	13
Tablo 2.2 Ölçek, frekans ve periyot arasındaki ilişki.....	15



BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Jeofizik yöntemlerde anomali haritalarının doğru bir şekilde analizinin yapılması, potansiyel alan verilerinin ayrımı ve yapı sınırlarının belirlenmesi çok önemli bir konudur. Manyetik ve gravite anomalilerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için rejyonel ve rezidüel anomali alanlarının birbirinden ayrılması gereklidir. Rezidüel anomaliler yeryüzüne yakın yapıların, rejyonel anomaliler ise daha derinlerde yer alan büyük kütlelerin etkisinden kaynaklanmaktadır. Potansiyel anomali haritalarındaki anomalilerin genişliği ile bu anomalilere sebep olan kütlelerin derinlikleri arasında önemli bir ilişki görülür. Yeryüzüne yakın kütlelerin anomalileri dar, daha derinlerdeki kütlelerin anomalileri ise geniş yer kaplar. Bu anomalilerin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için bu ayrımın doğru bir şekilde yapılması gerekir. Geçmiş yıllardan beri çeşitli veri işlem yöntemleri rezidüel, rejyonel ayrımı için kullanılmaktadır. Dean (1958) gravite ve manyetik anomalilerin yorumu için frekans analizi yapmış ve düşey türevleri bulmuştur. Fuller (1967), Lavin ve Devane (1970), Clement (1973) ve Anderson (1979) yapmış oldukları çalışmalarda iki boyutlu filtre elde etmişlerdir. Pawlowski ve Hansen (1990) gravite anomalilerinin ayrımını Wiener filtre tekniği kullanarak yapmıştır. Keating (1992) gravite anomali haritalarından yoğunluk dağılımını Walsh dönüşümünü kullanarak elde etmiştir. Bezvoda ve diğer., (1992) lineer filtreleri kullanarak potansiyel alanlardaki direkt problem çözümleri yapmışlardır. Hansen ve Simmonds (1993) Werner dekonvolisyonu algoritması kullanarak çeşitli kaynak yapıları değerlendirmişlerdir. Wessel (1998) rejyonel ve rezidüel ayrımı için median filtreler kullanmıştır. Uçan ve diğer., (2000a) yapmagravite anomalilerinden rejyonel ve rezidüel ayrımında Markov Random filtre kullanmışlardır. Albora ve diğer., (2001a; 2001b) potansiyel alan verilerinde rejyonel ve rezidüel ayrımında Hücresel Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır. Uçan ve diğer., (2002) sentetik gravite anomalilerinden rejyonel ve rezidüel ayrımı için Genetik-Hücresel Yapay Sinir Ağlarını kullanmışlardır.

Bu tez çalışmasında, rejyonel ve rezidüel ayrımında neredeyse her alanda uygulama alanı olan dalgacık dönüşümü kullanılacaktır. Littlewood ve Paley (1931) değişken ölçekli enerjisini koruyan fonksiyonlar elde etmişlerdir. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümündeki pencere sorununu gidermek üzerine yaptığı çalışmalar sonunda Goupillaud ve diğer., (1984) ilk kez sismik sinyal işleminde dalgacık dönüşümünü kullanmıştır. Strömberg ilk dikgen dalgacık fonksiyonunu bulmuştur. Grossman ve Morlet (1985) quantum mekaniğindeki evre uyumlu durumlar kullanarak, dalgacık fonksiyonuna dayanan integraller için ters dönüşüm elde etmişlerdir. Meyer (1986) sürekli türeve sahip ilk dalgacık fonksiyonlarını ve Daubechies (1988) ortogonal, sıkı destekli dalgacık fonksiyonunu elde etmiştir.

Jeofizikte dalgacık dönüşümü birçok alanda kullanılmaktadır. Davis ve diğer., (1994), Riddsil-Smith ve Dentith (1999), Şeker ve diğer., (1999), Uçan ve diğer., (2000b), Uçan ve Albora (2001), Albora ve diğer., (2002), Albora ve diğer., (2004) potansiyel kaynaklı verilerin rejyonel ve rezidüel ayrımlarını dalgacık dönüşümü kullanarak elde etmişlerdir.

Bu tez kapsamında öncelikle dalgacık dönüşümünün esasları, türleri anlatılmış olup sonrasında Fourier dönüşümü ile kıyaslamaları yapılmıştır. Ardından bir ve iki boyutlu veriler üzerinde yöntemin sonuçları irdelenmiştir. Bir boyutlu sürekli dalgacığın içerisine eklenen farklı yerlerdeki iki süreksizliğin dalgacık dönüşümü ve Fourier dönüşümü ile tespiti yapılmıştır. Daha sonra Potensoft programı (Arısoy ve Dikmen, 2011) kullanılarak 2B sentetik gravite anomalileri elde edilmiştir. Bir, iki ve dört prizmalı durumlar incelenmiştir. Sentetik gravite anomalilerine yine Potensoft'un içerisindeki tilt açısı, tilt türevi, theta map ve aşağı analitik uzanım yöntemleri uygulanmıştır. Bunlar dalgacık dönüşümü yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Dalgacık dönüşümünde genellikle daubechies (db) dalgacıkları kullanılmıştır. Sonrasında bu verilere gürültü eklenerek gürültülü koşullardaki dalgacık dönüşümü yönteminin etkinliği sınanmıştır. Bu nedenle %4 ve %10 beyaz Gauss gürültüsü eklenmiş ve aynı yöntemler uygulanıp karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca %10 beyaz Gaussian gürültüsü eklendiği durumda sonuçlar tatmin edici

olmadığından dolayı elde edilen analiz sonuçlarını teze eklemek gerek görülmemiştir.

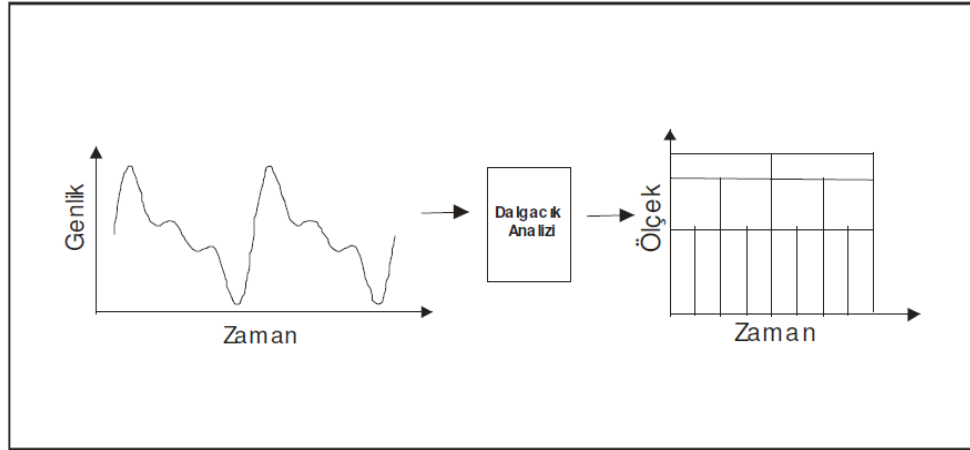


BÖLÜM İKİ

KURAMSAL GELİŞİM VE YÖNTEM

2.1 Dalgacık Yaklaşımı

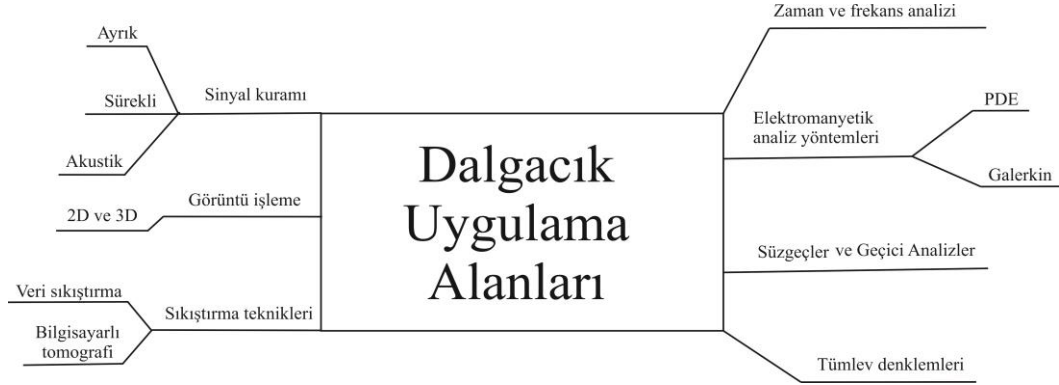
Spektral analiz yöntemi ile veriyi frekans ortamından zamana ya da zaman ortamından frekans ortamına dönüştürebiliriz. Bu sayede jeofiziksel problemlerin analizinde iki farklı ortamda bilgi sahibi olunabilir ve daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Geleneksel Fourier dönüşümü ve pencerelenmiş Fourier dönüşümünden çeşitli üstünlükleri olan dalgacık dönüşümünün geliştirilmesi ile spektral bileşenlerin analizi için çeşitli çözünürlük özellikleri sunulmuştur (Morlet ve diğer., 1982a, Grossmann ve Morlet, 1984). Dalgacık ortamında aynı anda hem frekans hem zaman ortamında önemli bilgiler edinilebilir. Frekans ortamında dalgacık dönüşümü dalgacıkların yerelleştirme özellikleri nedeniyle durağan dalgaları çalışabilmemizi sağlar. Dalgacık dönüşümünde hem yerel hem genel anlamda analiz yapılabilir. Ayrıca uygulamaya göre uygun dalgacık biçiminin farklı dalgacık ailesi içerisinde seçilebilme serbestliği dalgacık dönüşümünün avantajlarından biridir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Dalgacık dönüşümü (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek).

Dalgacık dönüşümü yerbilimlerinde özellikle sinyal işleme konusunda çok geniş kullanıma sahiptir. Örneğin; atmosferik türbülansa, deniz tabanı derinlik ölçümlerinde, kuyu logu yorumlamada, görüntü işleme ve gürültü gidermede, okyanus rüzgâr dalgalarında, potansiyel alanlarda, sismolojik verilerin

yorumlanmasında, gravite ile manyetik yöntemlerde rejyonel ile rezidüel ayrımında ve bunlara benzer birçok konuda dalgacık dönüşümü kullanılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Dalgacık dönüşümünün uygulama alanları (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek).

Bazı çalışmalarda potansiyel alan verilerinde uygun filtreleme yöntemleri kullanılarak süreksizliklerin sınırları belirlenebilmiş ve gürültüler giderilebilmiştir. Farklı dallardaki problemlere göre birçok farklı filtre aynı şekilde veya geliştirilerek kullanılmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak Blakely ve Simpson (1986)'nin yapı sınırlarının saptanması için geliştirdikleri sınır analizi tekniği verilebilir. Pawlowski ve Hansen (1990) Wiener filtre tekniği, Keating (1992) Walsh transformu, Bezdova ve diğer., (1992) doğrusal filtreler, Hansen ve Simmonds (1993) Werner Dekonvolüsyon Algoritması, Fedi ve Quarta (1998) Dalgacık Dönüşümü Tekniği, Uçan ve diğer., (2000d) Markov Random Filtre tekniği, Fedi and Florio (2001) Sınır Analizi Tekniğine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiş yatay türev (EHD) yöntemini geliştirmişler ve yapı sınırlarının saptanmasında başarılı neticeler elde etmişlerdir. Albora ve diğer., (2001a, b), Hücrel Yapay Sinir Ağı, Uçan ve diğer., (2002b) Genetik Hücrel Yapay Sinir Ağları, Uçan ve diğer., (2003) Yönlendirilebilir Filtre Tekniği, Bilgili ve diğer., (2005) Çok seviyeli-Hücrel Yapay Sinir Ağları gibi farklı alanlarda kullanılan filtre ve sınır saptama yöntemlerinin, potansiyel kaynaklı anomalilerinin ayrımında başarılı olduğunu göstermişler ve buldukları sonuçların klasik filtre teknikleri ile karşılaştırmasını yaparak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

2.2 Fourier Dönüşümü

Fourier dönüşümü Fourier serisinin genelleştirilmiş biçimidir. Üst üste binmiş sinüzoidaller sonsuz bir aralık üzerinde belirli bir periyodu olmayan fonksiyonları temsil eder. Dalgalar ile ilgili çalışmalarda Fourier dönüşümü vazgeçilmez bir araçtır. Laplace dönüşümü gibi Fourier dönüşümü de integral dönüşümü gösterimleri olarak bilinen sınıfa üyedir ve diferansiyel eşitliklerin çözümünde çok kullanışlıdır. Fourier dönüşümü sadece diferansiyel denklemlerin çözümünde değil ayrıca kuantum mekaniğinde dalga fonksiyonlarını ya koordinat uzayında ya da momentum uzayında görmemizi sağlamaktadır. Bunların dışında dalga formunu hem frekans hem zaman ortamında görmemize olanak sağlar. Bu sebeplerden dolayı Fourier dönüşümü sinyal işleme teknolojilerinden madde dalgalarının kuantum açıklamasına kadar geniş bir alanda temel taşı haline gelmiştir (Şekil 2.3).

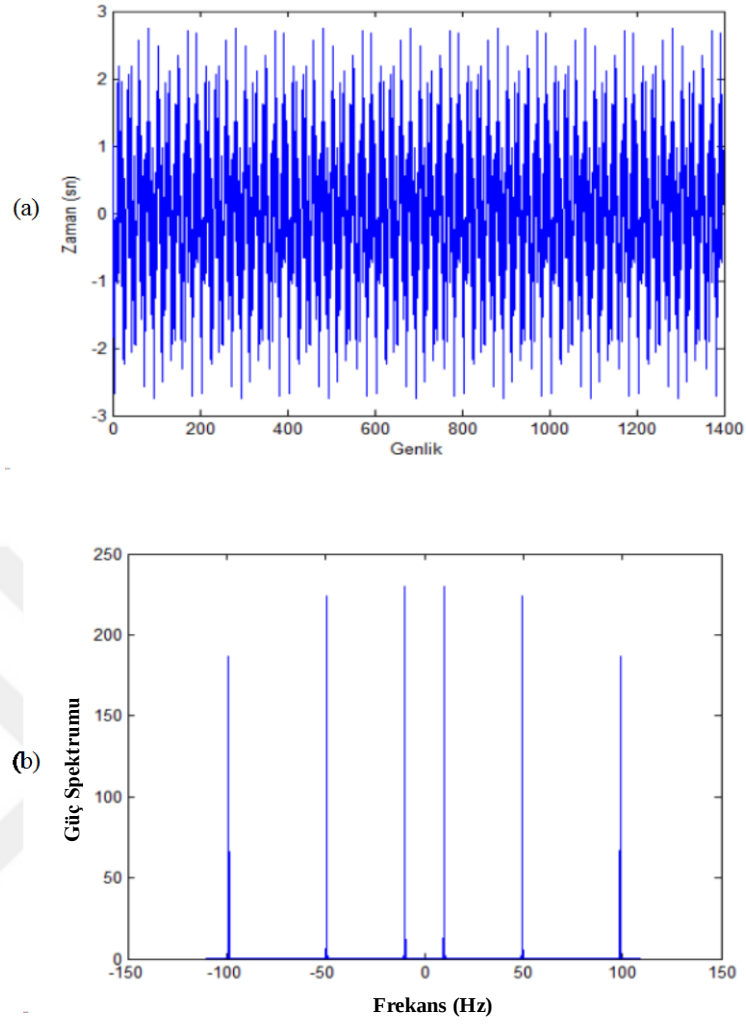
$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(k) e^{j2\pi kt} dk \quad (2.1)$$

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi kt} dt \quad (2.2)$$

Yukarıdaki iki ifadeye Fourier dönüşümü çifti denir. Bunlar sürekli zaman sinyalleri için Fourier dönüşümü ve ters Fourier dönüşümünü temsil etmektedir. Bu eşitliklerde $F(k)$ $f(t)$ 'nin Fourier dönüşümüdür ve t ile k değişkenleri eşlenik değişkenler olarak adlandırılır. k değişkeni açısal frekans terimine (ω) aşağıdaki gibi çevrilebilir (Polikar, 1996).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt \quad (2.3)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2.4)$$



Şekil 2.3 (a) 10, 50 ve 100 Hz’lik sinüslerin toplamı (b) 10, 50 ve 100 Hz frekans bileşenli sinüzoidalın Fourier dönüşümü sonucu.

2.2.1 Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)

Δt aralıkları ile örneklenmiş bir sayısal verinin Fourier dönüşümünü bulmak için sayısal integrasyon yöntemleri uygulanabilir. Fourier dönüşümü bağıntısına,

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{j2\pi ft} dt \quad (2.5)$$

dikdörtgenler yöntemi ile sayısal integrasyon uygulanır ise t değişkeni yerine $k.\Delta t$ yazılır ve integral toplama dönüştürülerek Δt ile çarpılır. İntegralin toplama dönüştürülmesi ile $G(f)$ yerine ona bir yaklaşımı veren $G^*(f)$ hesaplanabilir:

$$G^*(f) = \Delta t \sum_{k=-\infty}^{\infty} g(k.\Delta t) e^{-j2\pi f k.\Delta t} \quad (2.6)$$

Ölçülen verinin belirli sayıda olması nedeni ile yukarıdaki toplamın $k = -\infty$ ile $k = \infty$ aralığında gerçekleştirilmesi olanaklı değildir. Eğer, p adet sayısal veri negatif yatay eksen, r adet sayısal veri pozitif yatay eksen değerlerinde tanımlı ise yukarıdaki toplam

$$G^*(f) = \Delta t \sum_{k=-p}^r g(k.\Delta t) e^{-j2\pi f k.\Delta t} \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. Burada, $g(k.\Delta t)$ sayısal verisinin, $-p.\Delta t$ den daha küçük ve $r.\Delta t$ den daha büyük zaman değerlerinde sifıra yaklaşmalıdır:

$$g(k.\Delta t) \approx 0, \quad t \leq -p.\Delta t \text{ ve } t \geq r.\Delta t \quad (2.8)$$

Sayısal veri, yukarıda verilen zaman-sınırlı olma koşulunu sağlar ise 2.7 bağıntısı ile verilen sayısal integrasyon bağıntısı sürekli Fourier dönüşümüne iyi bir yaklaşım üretir. 2.7 bağıntısının toplamı ‘Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD)’ olarak adlandırılır.

Hazır algoritma, alt programların veya arşiv programların birçoğu ölçülerin sıfır zamanında başladığını varsayar ve bu varsayıma uygun numaralandırma yapar. Bu numaralandırma sistemi aynı zamanda programlama dillerinin dizileri numaralandırmasına da uygunluk sağlar. Eğer, ayrık zaman verisi 0 dan $N-1$ e kadar numaralandırılan N adet veriden oluşmakta ise

$$G^*(f) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g_k e^{-j2\pi f k.\Delta t} \quad (2.9)$$

yazılabilir. Burada veri değerleri sıralı olarak g_k ile simgelenmektedir. k sıra numaralı olarak işlem gördüğünden, $k \cdot \Delta t$ değerleri de zamanın bağıl değerlerini gösterir. Böylece ilk zaman değeri sıfır zamanı olarak tanımlanmış olur.

Standart algoritmalarda frekans bölgesinde hesaplanan veri sayısı, zaman bölgesindeki veri sayısına eşit alınır. Diğer bir kısıtlama da veri sayısının çift bir sayı olarak alınmasıdır. Veri sayısının çift ve tercihen ikinin üstü olması hızlı çalışan yani daha az sayıda işlem yapan ayırık Fourier dönüşümü algoritmalarının kullanılmasına izin verir. O halde her iki bölgedeki veri sayıları birbirine eşit olmak üzere 2.9 bağıntısı izleyen şekilde yazılabilir:

$$G^*(r \cdot \Delta f) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g_k e^{-j2\pi \cdot k \cdot \Delta t \cdot r \cdot \Delta f} \quad r = 0, \dots, N-1 \quad (2.10)$$

Frekans bölgesi örnekleme aralığının,

$$\Delta f = \frac{1}{N \cdot \Delta t} = \frac{2f_N}{N} \quad (2.11)$$

olarak seçilmesi uygun görülür. Bu değer 2.10 bağıntısında yerine yazılması ile

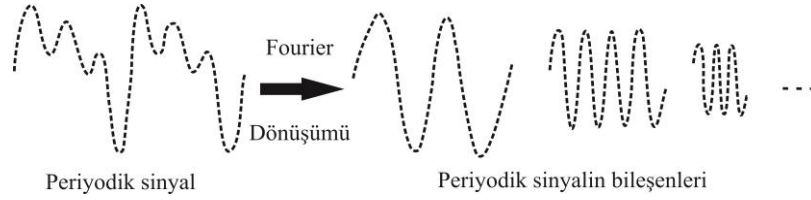
$$G^*\left(\frac{r}{N \cdot \Delta t}\right) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g_k e^{-j2\pi \cdot k \cdot \frac{r}{N}} \quad r = 0, \dots, N-1 \quad (2.12)$$

elde edilir.

2.2.2 Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD)

Fonksiyonlar kendilerini oluşturan sinüs veya kosinüs gibi periyodik fonksiyonlarla ifade edilebilmektedirler. Bir fonksiyonun kendisini oluşturan birçok sayıda alt fonksiyonlarla ifade edilebilmesi matematiksel olarak fonksiyonların kullanılabilirliğini arttırmıştır. 19. yüzyılda Fransız matematikçisi Joseph Fourier herhangi bir periyodik fonksiyonun sınırsız sayıda karmaşık üstel periyodik fonksiyonun toplamıyla ifade edebileceğini göstermiştir. Şekil 2.4’de periyodik bir

sinyalin frekans dönüşümü ile elde edilen sinüs bileşenleri gösterilmiştir (Bayazıt, 1996).



Şekil 2.4 Periyodik bir sinyalin Fourier Dönüşümü (Bayazıt, 1996).

Ayrık Fourier Dönüşümünü veren 2.12 eşitliğinin toplamındaki hesaplama sayısı karmaşık üstel fonksiyonun bazı özelliklerinden yararlanarak azaltılabilir. Bu tür hesaplama algoritmaları ‘Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD)’ olarak bilinir. İzleyen,

$$W = e^{j2\pi/N} \quad (2.13)$$

tanımı ve yalınlaştırma amacı ile toplamın önündeki çarpanın daha sonra göz önüne alınması ile 2.12 izleyen biçimde yazılabilir.

$$G^*\left(\frac{r}{N}\right) = \sum_{k=0}^{N-1} g_k W^{kr} \quad r = 0, \dots, N-1 \quad (2.14)$$

2.2.3 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü(KZFD)

Fourier dönüşümü bir zaman verisinin frekans içeriğini başarılı bir şekilde görüntüler. Böylece, zaman verisini oluşturan dalga biçimlerinin genliklerinin frekansla değişimi incelenebilir. Öte yandan deprem gibi birçok olayda, zaman verisini oluşturan dalga biçimlerinin frekans içeriği ilerleyen zamanla değişir. Örneğin, deprem dalgalarının bir bölümü kaynaktan doğrudan kayıt istasyonuna ulaşır iken, bir bölümü kırılma ve yansımalar gibi olaylar sonucunda bir gecikme ile istasyona varırlar. Frekans bölgesinde kavramsal olarak zaman değişkeni bulunmadığından, dalga biçimlerinin frekans içeriğinin zamanla değişimi de ifade edilemez.

Dalgaların frekans içeriğinin zamanla değişimini incelemek amacı ile yatay eksenlerden biri zaman, diğeri frekans olan bir harita üzerinde genlikler görüntülenebilir. Bu işlem yatay ve düşey eksenleri sırası ile doğu-batı ve kuzey-güney olan bir yükselti haritası çizimi ile aynıdır. Genlikler bir topoğrafya haritasının yükseklik değerlerine karşılık gelir. Bu tür bir harita çizimi zaman-frekans ayrışımı olarak bilinir.

Eğer bir verinin kısa süreli bir zaman aralığında Fourier dönüşümü alınır ise sadece belirli bir pencere aralığında kalan dalga biçimlerinin frekans içeriği görüntülenmiş olur. Eğer bu pencere zamana göre kaydırılır ve pencere merkezinin bulunduğu anlık zaman değeri τ ile gösterilir ise

$$KZFD(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot g(t - \tau) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.15)$$

yazılabilir. Bu dönüşüm Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) olarak adlandırılır (Gabor, 1946) (Şekil 2.5). Burada, $f(t)$ zaman veri ve $g(t)$ ise pencere fonksiyonudur. $f(t)$ zaman verisinin, τ zamanına kaymış $g(t)$ pencere fonksiyonu ile çarpımının Fourier dönüşümü ile kısa zamanlı Fourier dönüşümü elde edilir. Pencere fonksiyonu, KZFD hesaplamaları için önemlidir. Eğer uzun süreli bir fonksiyon olarak seçilir ise frekans bölgesinde dar bir bant-geçişli süzgeç gibi davranacaktır (Chakraborty ve Okaya, 1995). Bu durumda, frekans ekseninin ayrırlılığı yüksek olacaktır. Ancak, zaman bölgesinde pencere boyu uzun olduğundan verideki küçük değişimler fark edilmeyecektir. Zamanda kısa süreli pencere seçildiğinde ise anlık değişimler iyi tanımlandığı halde frekans bölgesinde hızlı frekans değişimleri iyi saptanamayacaktır.



Şekil 2.5 Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Misiti ve diğer., 2009’dan değiştirilerek).

2.3 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık sıfır ortalama değere sahip belli bir zaman dilimindeki dalga formudur ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (2.16)$$

Buradaki $\psi(t)$ ana dalgacık olarak isimlendirilir. Ana dalgacığın şu koşulu sağlaması gerekir.

$$\int_0^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|}{\omega} d\omega < +\infty \quad (2.17)$$

$\hat{\psi}(\omega)$ ana dalgacığın ($\psi(t)$) Fourier dönüşümüdür.

Dalgacık dönüşümü farklı ölçeklerde çözüm özelliği sayesinde birçok değişik disiplinde kullanım olanağı bulmuştur. Fourier dönüşümü analiz edilen sinyaldeki frekansları verir ancak hangi zaman diliminde hangi frekansların olduğu konusunda yetersiz kalır. Kısa Zamanlı Fourier dönüşümünün bu eksikliğini kapatmak için Dalgacık dönüşümü ileri sürülmüştür. Dalgacık dönüşümünde zaman ve frekans çözünürlüklerini sabit tutmak yerine, her ikisini de zaman-frekans düzleminde çok çözünürlüklü bir analiz elde etmek için değişken olarak kullanabilmektedir. Böylece frekans arttıkça zaman çözünürlüğünde iyileşme görülmektedir. Aynı şekilde frekans azaldıkça da frekans çözünürlüğünde iyileşme görülmektedir. c bir sabit olmak üzere

$\frac{\Delta t}{f} = c$ şeklinde gösterilir. Zaman- frekans çözünürlük ilişkisi Arı ve diğer., tarafından Tablo 2.1’de ki şekilde verilmiştir.

Tablo 2.1 Frekans ile çözünürlük ilişkisi (Arı ve diğer., 2008).

Frekanslar/Çözünürlük	Zaman Çözünürlüğü	Frekans Çözünürlüğü
Alçak	Zayıf	İyi
Yüksek	İyi	Zayıf

2.3.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Fourier Dönüşümünde olduğu gibi Sürekli Dalgacık Dönüşümü de analiz fonksiyonu ve sinyal arasındaki benzerliği ölçmek için iç çarpımı kullanır. Fourier Dönüşümünde analiz fonksiyonu “ $e^{-j\omega t}$ ” karmaşık üsteldir. Dönüşüme giren tek değişken ω ’dır. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünde analiz fonksiyonu ise “ $w(t)e^{-j\omega t}$ ” pencerelemiş karmaşık üsteldir ve dönüşüme iki değişken girmektedir. KZFD katsayıları “ $F(\omega, \tau)$ ” sinyal ile açısal frekansı ω ve belirli uzunluktaki aralıkta merkezi τ olan sinüzoidalın ne kadar uyumlu olduğunu gösterir.

Sürekli Dalgacık Dönüşümünde analiz fonksiyonu “ ψ ” dalgacıktır. SDD sinyal ile dalgacığın uzatılmış, ötelenmiş veya sıkıştırılmış türlerini karşılaştırır. Sinyali ve dalgacığı değişik ölçek ve pozisyonlarda karşılaştırarak iki değişkenli fonksiyon elde edilir. Tek boyutlu bir sinyalin, iki boyutlu temsili gereksizdir. Eğer dalgacık kompleks değerli ise SDD ölçek ve konumun kompleks değerli bir fonksiyonudur. Eğer sinyal gerçek değerli ise SDD ölçek ve konumun gerçek değerli bir fonksiyonudur.

$f(t)$ fonksiyonunun $a>0$ için Sürekli Dalgacık Dönüşümü şu şekildedir.

$$SDD(a, b; f(t), \psi(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.18)$$

ψ^* burada $\psi(t)$ dalgacık analizinin karmaşık eşleniğidir ve ana dalgacık ile çekirdek dalgacıkta denmektedir. b konum parametresi, a ise ölçek parametresidir ve frekansla ters orantılıdır. $1/\sqrt{a}$ değeri fonksiyonun enerjisini çeşitli ölçeklerle normalize eder (Daubechies, 1992). SDD katsayılarına ölçek ve konum katsayısı dışında seçilen dalgacık türü de etki etmektedir.

SDD’nde kullanılabilecek çok fazla dalgacık türü vardır. Dalgacık analizi için gerekli dalgacık türünün seçimi kafa karıştırıcı gözükse de aslında bu durum dalgacık analizinin gücünü göstermektedir. Sinyalin hangi özelliğine göre çalıştığınıza bağlı olarak dalgacık seçebilme serbestliği sinyaldeki tespitleri yapmamızda kolaylık sağlar. Eğer sinyalde ani süreksizlikler tespit edilmek isteniyorsa tek bir dalgacık seçilebilir. Eğer sinyal içerisindeki salınımların başlangıç, bitiş ve konumlarının belirlenmesi isteniyorsa sinyalin davranışına uygun dalgacık türü seçmede serbestlik sinyali analiz etmekte çok fayda sağlar.

2.3.1.1 Ölçek

Ölçek resimlerin ve sinyallerin yararlı özelliklerinden biridir. Sıcaklık verilerinin farklı ölçeklerde yıllık veya on yıllık değişimleri analiz edilebilir. Ayrıca daha küçük ölçeklerde günlük değişimlerde incelenebilir. Bazı işlemlerde uzun zaman sonunda ilginç değişimler ortaya çıkarken kısa zaman aralığında yerel ölçeklerde bir sonuca ulaşamaz ve bu durumun tam tersi de görülmüştür. Ölçek, frekans ve periyot arasındaki ilişki Tablo 2.2’de verilmiştir.

Genişleme veya küçülme tanımlamalarının yerine a harfi ile gösterilen ölçekleme faktörü kullanılmaktadır. Ölçek faktörü pozitif niceliktir ($a>0$). Sinüzoidaller ile ölçek faktörünün etkisini görmek çok kolaydır.

Ölçek faktörü dalgacık dönüşümünde de aynı şekilde işler. Daha küçük ölçek faktörü dalgacığın daha çok sıkıştırılmasıdır. Ölçekleme yardımıyla, düşük ölçeklerde yüksek frekans davranışları, yüksek ölçeklerde düşük frekans davranışları

daha iyi analiz edilir. Farklı frekanstaki bileşenlere sahip dalgaların çözümlenmesinde, bu yöntem çok fayda sağlar.

$\sin(\omega t)$ sinüzoidalinde a ölçek faktörü, ω açısal frekans ile ilişkilidir. Aynı şekilde dalgacık dönüşümünde ölçek sinyalin frekansı ile ilişkilidir.

Tablo 2.2 Ölçek, frekans ve periyot arasındaki ilişki

Ölçek	Frekans	Periyot
2	3,5294	0,2833
4	1,7647	0,5667
8	0,8824	1,1333
16	0,4412	2,2667
32	0,2206	4,5333
64	0,1103	9,0667
128	0,0551	18,1333

2.3.1.2 Öteleme

Matematikte k kadar ötelenmiş bir fonksiyon $f(t - k)$ şeklinde gösterilir. Ötelenmiş dalgacık örneği Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6 Dalgacık ve ötelenmiş dalgacık fonksiyonu.

2.3.2 Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Ayrık Dalgacık Dönüşümünde ikinin kuvveti şeklinde ölçekleme ve kaydırma parametreleri seçilerek analiz yapılmaktadır. Ölçekleme ve kaydırma parametreleri ölçek ve pozisyon olarak da bilinirler. İkinin kuvveti şeklinde alınan ölçekleme ve kaydırma parametreleri sayesinde Sürekli Dalgacık Dönüşümündeki gibi her öteleme değeri (τ) ve her ölçek değeri (a) için yapılan hesaplama gerekmez.

Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Sürekli Dalgacık Dönüşümündeki ölçekleme parametresinin (a) $a = a_0^m$ şeklinde ayrıştırılarak ve zamanda ötelemenin bu ölçeklendirme ile gerçekleşmesi ($b = nb_0 a_0^m$) sonucu elde edilir. Genel olarak $a_0 = 2$ ve $b_0 = 1$ olarak alınır. Böylece $a = 2^m$ ve $b = n \cdot 2^m$ olur.

$$\psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (2.19)$$

Bu sayede, alçak frekansları analiz eden geniş pencereler büyük adımlarla ötelenmiş olur. Aynı şekilde yüksek frekansları analiz eden dar pencereler sinyaldeki hızlı değişimleri tespit etmek amacıyla küçük adımlarla ötelenmiş olur.

Böylece Ayrık Dalgacık Dönüşümü formülü,

$$ADD_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{a_0^{m/2}} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) dt \quad m, n \in Z \quad (2.20)$$

$a_0 = 2$, $b_0 = 1$ olduğunda,

$$ADD_{m,n} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{2^{m/2}} \psi\left(\frac{t - n2^m}{2^m}\right) dt \quad (2.21)$$

elde edilir. m ölçek parametresini, n ise öteleme parametresini ifade etmektedir.

Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile bir sinyalin analizinde alçak ve yüksek frekans geçiren filtre kullanılarak sinyal ayrıştırılır. Bunlara yaklaşım ve detay katsayıları denir. Örneğin daubechies dalgacık katsayıları kullanılmasıyla dalgacık yaklaşım ve detay katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır;

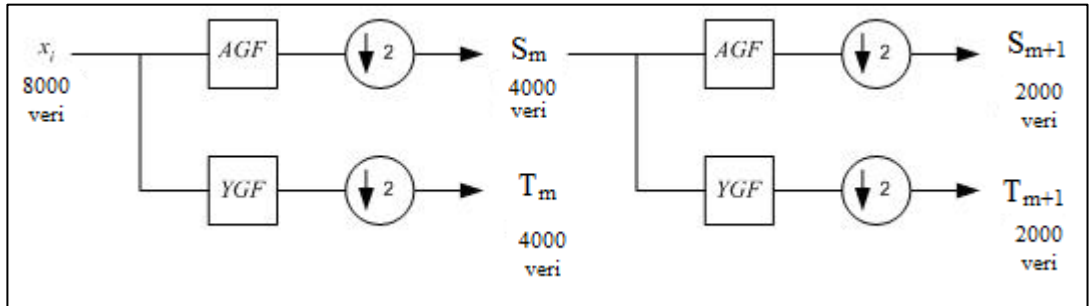
$$\begin{aligned} A_{m+1,n} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{N_k-1} c_k A_{m,2n+k} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [c_0 A_{m,2n} + c_1 A_{m,2n+1} + c_2 A_{m,2n+2} + c_3 A_{m,2n+3}] \end{aligned}$$

$$= 0,483A_{m,2n} + 0,837A_{m,2n+1} + 0,224A_{m,2n+2} - 0,129A_{m,2n+3}$$

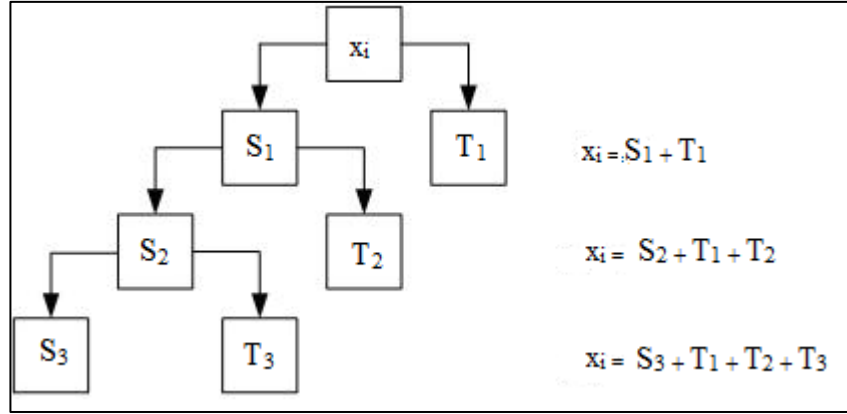
Buradaki $(1/\sqrt{2})c_k$ katsayılarına ‘alçak geçiren filtre katsayıları’ denmektedir. Bu katsayılara karşılık gelen detay katsayıları için bu sefer $(1/\sqrt{2})b_k$ katsayıları kullanılır ve buna ise ‘yüksek geçiren filtre katsayıları’ denir. $b_k = (-1)^k c_{N_k-1-k}$ olduğundan detay katsayıları aşağıdaki şekilde verilir:

$$\begin{aligned} D_{m+1,n} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{k=0}^{N_k-1} b_k A_{m,2n+k} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} [c_3 S_{m,2n} - c_2 S_{m,2n+1} + c_1 S_{m,2n+2} - c_0 S_{m,2n+3}] \\ &= -0,129S_{m,2n} + 0,224S_{m,2n+1} + 0,837S_{m,2n+2} - 0,483S_{m,2n+3} \end{aligned}$$

A_m ile gösterilen yaklaşım katsayıları yüksek ölçekli olup, sinyalin alçak frekans katsayılarıdır. D_m ile gösterilen detay katsayıları ise düşük ölçekli ve sinyalin yüksek frekans katsayılarını ifade etmektedir. Örneğin bir x_i sinyali, iki ayrı filtreden geçerek yaklaşım(A_m) ve detay (D_m) katsayılarına ayrılmaktadır. Bu ayırma işleminde aşağı ikili örnekleme (downsampling) yapılarak veri sayısı yarılanır. Verinin yarılanarak ayrıklaştırılması sonucu veri sayısının her bir seviyede azalması dalgacık dönüşümünün dezavantajı olarak görülebilir. Bu ayrıştırma ardışık olarak gerçekleştiğinde çoklu seviye ayrışımı olarak adlandırılan bir algoritma oluşur ve oluşan şekil dalgacık ayrışım ağacı olarak isimlendirilir (Şekil 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7 ADD katsayılarının elde edilmesi.



Şekil 2.8 Dalgacık ayrışım ağacı.

$\Phi(t)$ ölçekleme fonksiyonu için genişleme denklemi ve $\psi(t)$ dalgacık fonksiyonu dalgacık denklemi filtre katsayıları kullanılarak şu şekilde tanımlanır:

$$\Phi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^N g(k) \Phi(2t - k) \quad (2.22)$$

$$\psi(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^N h(k) \Phi(2t - k) \quad (2.23)$$

$g(k)$ ve $h(k)$ sırasıyla alçak ve yüksek geçiren filtre katsayılarıdır. Buradaki N toplam filtre katsayıları sayısını göstermekle birlikte $g(k)$ ve $h(k)$ arasında şöyle bir ilişki vardır:

$$h(k) = (-1)^k g(N - k) \quad (2.24)$$

Alçak ve yüksek geçiren filtre katsayıları şu şekilde tanımlanır:

$$g(k) = (1/2)c_k \quad (2.25)$$

$$h(k) = (1/2)b_k \quad (2.26)$$

Dalgacık dönüşümünde seçilecek filtrenin katsayıları sonucu doğrudan etkilemektedir. Yaklaşım ve detay bileşenleri istenilen seviyede yeniden yapılandırılarak başlangıç sinyali aşağıdaki gibi tekrar elde edilebilir.

$$x_0(t) = A_M(t) + \sum_{m=1}^M D_m(t) \quad (2.27)$$

Buradaki $A_m(t)$ yaklaşım bileşeni ve $D_m(t)$ detay bileşenleri şu şekildedir:

$$A_M(t) = S_{M,n} \Phi_{M,n}(t) \quad (2.28)$$

$$D_m(t) = \sum_{n=0}^{2^{M-m}-1} T_{m,n} \psi_{m,n}(t) \quad (2.29)$$

A_m m. ölçekleme seviyesinde dalgacık yaklaşım bileşenleri olmak üzere bir dalgacığın karakök ortalama hata (RMS) değeri şu şekilde hesaplanır:

$$A_{RMS_m} = \sqrt{\frac{1}{N_A} \sum A_m^2} \quad (2.30)$$

Detay bileşenleri için aynı şekilde RMS değerleri şu şekilde bulunur:

$$D_{RMS_m} = \sqrt{\frac{1}{N_A} \sum D_m^2} \quad (2.31)$$

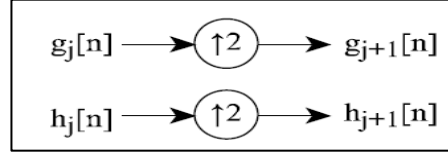
Toplam sinyalin RMS değerinin enerjisi bu iki bileşenin RMS değerlerinin enerjileri toplanarak şu şekilde elde edilir:

$$\sum_{n=1}^N |X_{RMS}(n)|^2 = \sum_{n=1}^{N_A} |A_{RMS_m}(n)|^2 + \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_D} |D_{RMS_m}(n)|^2 \quad (2.32)$$

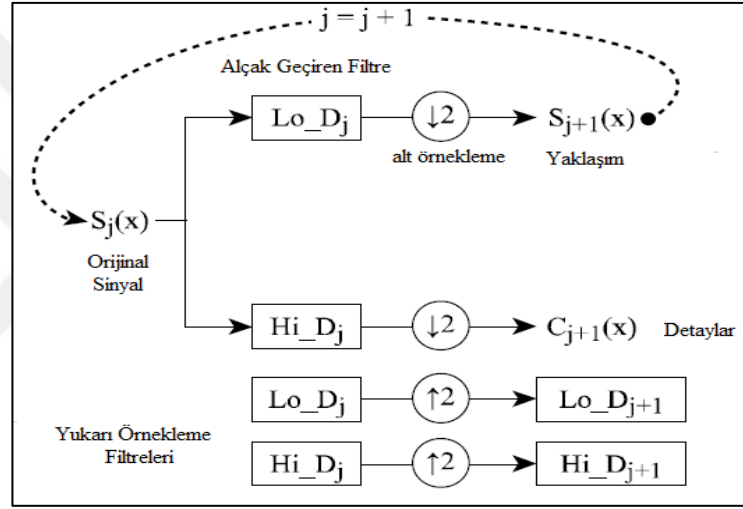
2.3.3 Durağan Dalgacık Dönüşümü

Durağan dalgacık dönüşümü ile Ayırık dalgacık dönüşümü benzer olmasına rağmen Ayırık dalgacık dönüşümündeki her bir seviyedeki iki ile alt örnekleme Durağan dalgacık dönüşümünde gerçekleşmez. Ayırık dalgacık dönüşümünde bu alt örnekleme durumundan dolayı sinyalin boyutu her seviye sonrası filtreleme ile yarıya düşer. Bu durumu aşmak için Durağan dalgacık dönüşümü tanıtılmıştır. Başlangıçtaki sinyalin boyutunda alt bantlar üretilir. Durağan dalgacık dönüşümü Ayırık dalgacık dönüşümüne göre daha çok bellekte yer kaplar ancak gürültü azaltma ve kenar kestirim konusunda daha iyi sonuçlar verir. Ayrıca Ayırık dalgacık

dönüşümünde her seviyede veri sayısı yarıya düştüğünden başlangıç veri sayısının ikinin katı olma zorunluluğu var iken Durağan dalgacık dönüşümünde böyle bir zorunluluk yoktur (Şekil 2.9 ve 2.10).



Şekil 2.9 Durağan dalgacık dönüşümü filtreleri.



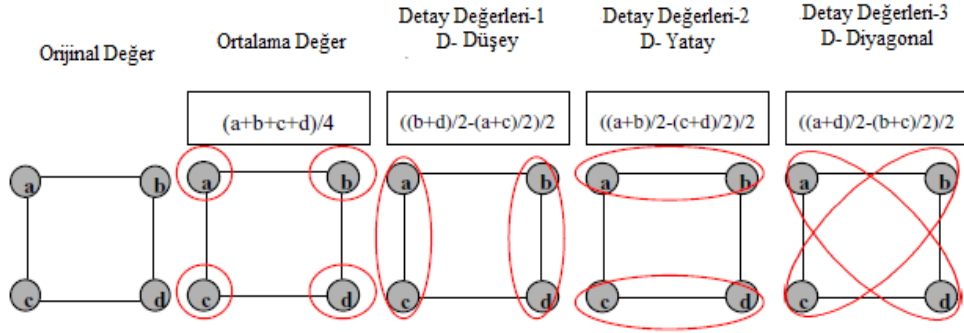
Şekil 2.10 1-B sinyali durağan dalgacık dönüşümü ile ayrıştırma.

2.4 İki Boyutlu Dalgacık Dönüşümü

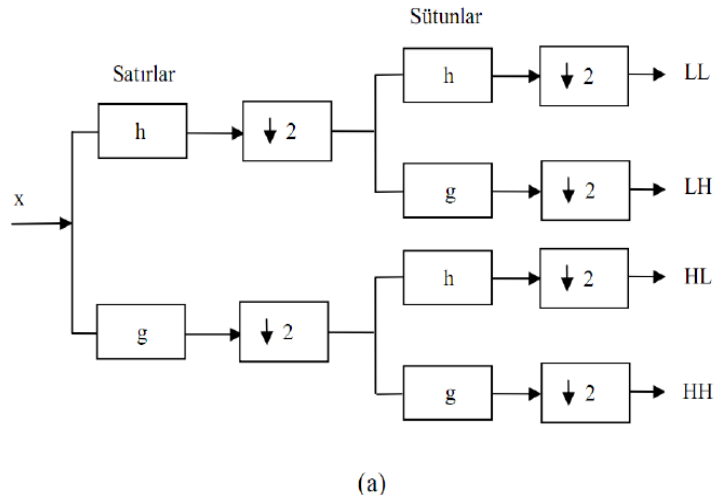
Tek boyutlu dalgacık dönüşümü analizine benzer şekilde çok çözünürlüklü analiz kullanılarak iki boyutlu dalgacık dönüşümü elde edilebilir. Bu yöntem tek boyutlu dalgacık dönüşümüne göre daha zordur. Tek boyutlu iki tane ortonormal dalgacığın tensör çarpımı yardımıyla iki boyutlu ortonormal dalgacığa dönüştürülmesidir (Mallat, 1989b). Mallat (1989b) tarafından gerçekleştirilen bu işlem sonrasında x ve y değişkenlerine bağlı olarak ölçekleme ve dalgacık fonksiyonları sırasıyla şu şekilde elde edilir:

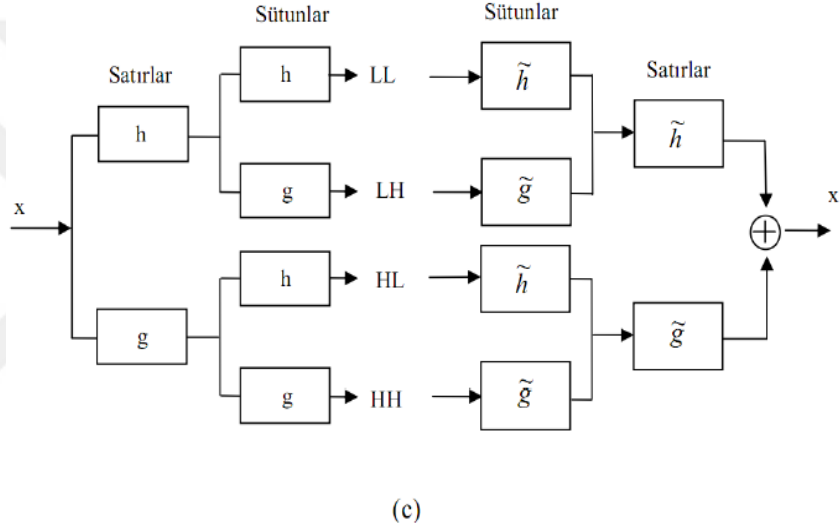
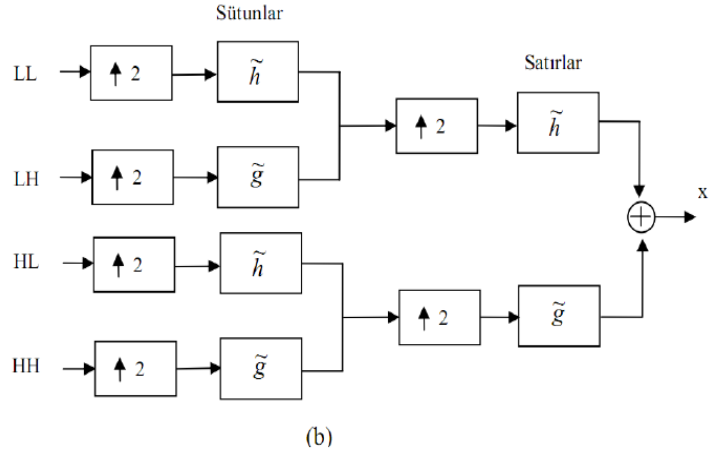
$$\begin{aligned}
\phi(x, y) &= \phi(x)\phi(y) \\
\psi^1(x, y) &= \phi(x)\psi(y) \\
\psi^2(x, y) &= \psi(x)\phi(y) \\
\psi^3(x, y) &= \psi(x)\psi(y)
\end{aligned} \tag{2.33}$$

Buradaki $\phi(x, y)$ ölçekleme fonksiyonudur. $\psi^1(x, y)$, $\psi^2(x, y)$, $\psi^3(x, y)$ ise sırasıyla yatay, düşey ve diyagonal dalgacıklardır. İki boyutlu dalgacık dönüşümü sonrasında sinyal her seviye sonrası dört alt banda ayrışır. Bunlardan biri sinyalin ölçekleme fonksiyonu ile ilişkili yaklaşım bileşenini verirken diğerleri yatay, düşey ve diyagonal detay bilgilerini içerir (Yakar, 2006) (Şekil 2.11 ve 2.12).



Şekil 2.11 Dört veri noktasının 2-D dalgacık dönüşümünün gösterimi (Shahabi ve diğer., 2001'den değiştirilerek).





Şekil 2.12 İki boyutlu dalgacık dönüşümünün filtre bankası ile gerçekleştirilmesi (a) ayrık dalgacık dönüşümü (b) ters ayrık dalgacık dönüşümü (c) durağan dalgacık dönüşümü ve ters durağan dalgacık dönüşümü (Yakar, 2006).

h : alçak geçişli filtre,

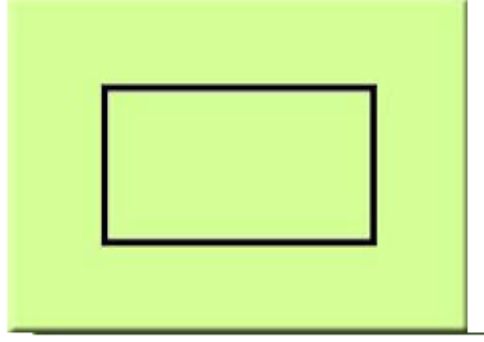
g : yüksek geçişli filtre,

$\tilde{h}$: sentez alçak geçişli filtre,

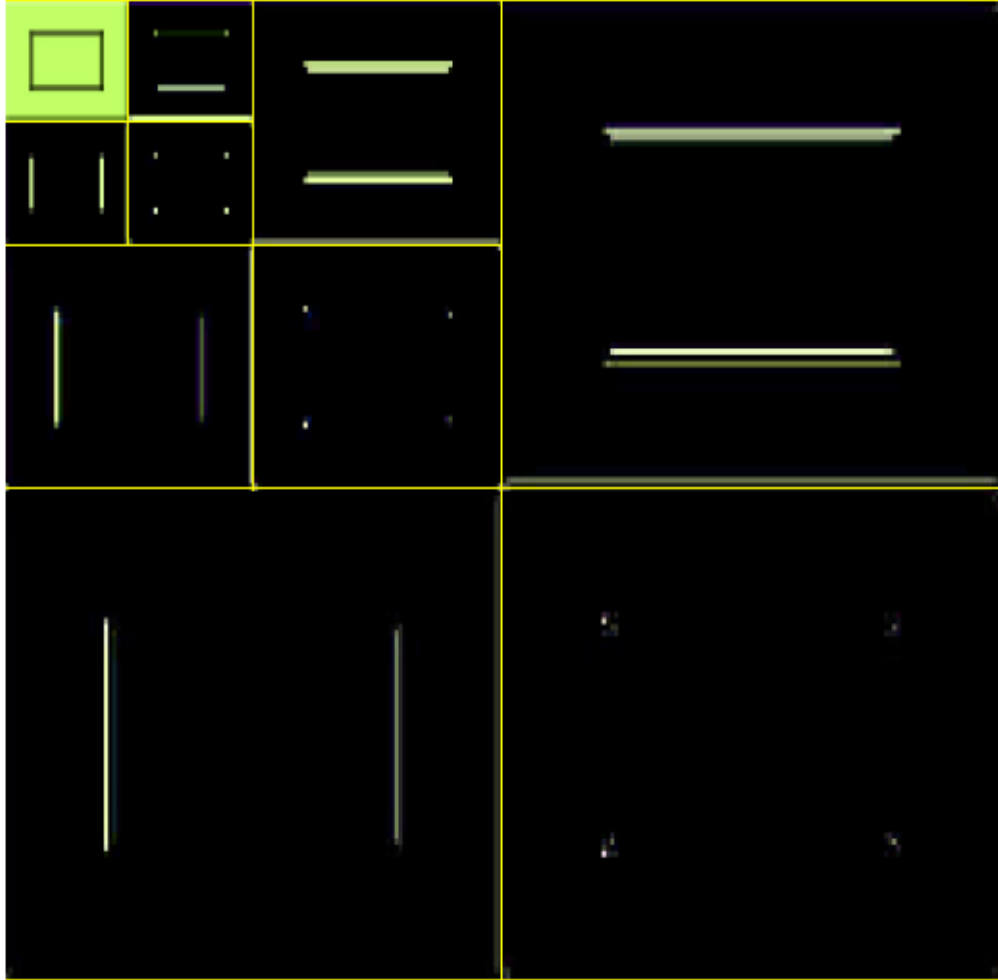
$\tilde{g}$: sentez yüksek geçişli filtreyi temsil eder.

İki boyutlu bir verinin dalgacık dönüşümü sonucu ayrıştırılması ile LL yaklaşık, LH yatay, HL düşey ve HH diyagonal görüntülere ait katsayı bilgileri elde edilir. Bir sonraki seviye içinde LL yaklaşık görüntülere ait katsayıları içeren alt banda dalgacık

dönüşümü uygulanır. Dikdörtgen bir resme dalgacık dönüşümü uygulanması sonucu elde edilen bileşenler Şekil 2.13’de verilmiştir.



a



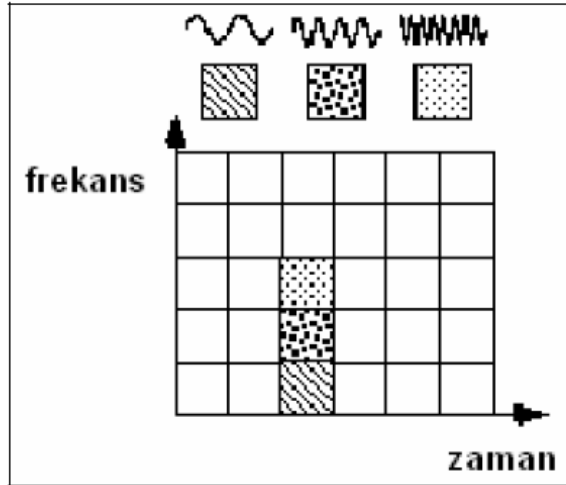
b

Şekil 2.13 İki boyutlu dalgacık analizi (a) dikdörtgen içeren bir görüntü (b) dikdörtgen içeren görüntünün iki boyutlu dalgacık ayrıştırılması.

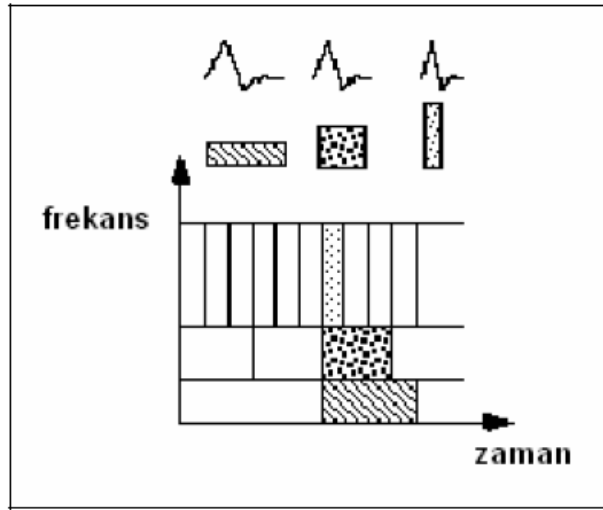
2.5 Dalgacık ve Fourier Dönüşümlerinin Karşılaştırılması

Dalgacık fonksiyonları uzayda sınırlandırılmasına rağmen Fourier sinüs ve kosinüs fonksiyonları ise uzayda sınırlandırılmamıştır. Dalgacıkların bu sınırlandırma özelliği dalgacık tanım bölgesine dönüştürüldüğü zaman seyrek dalgacıklar kullanan birçok fonksiyon ve operatör oluşturur. Ayrıca bu seyreklik veri sıkıştırma, resimlerdeki özellikleri bulma ve zaman serilerindeki sorunları ortadan kaldırma gibi birçok yarar sağlar.

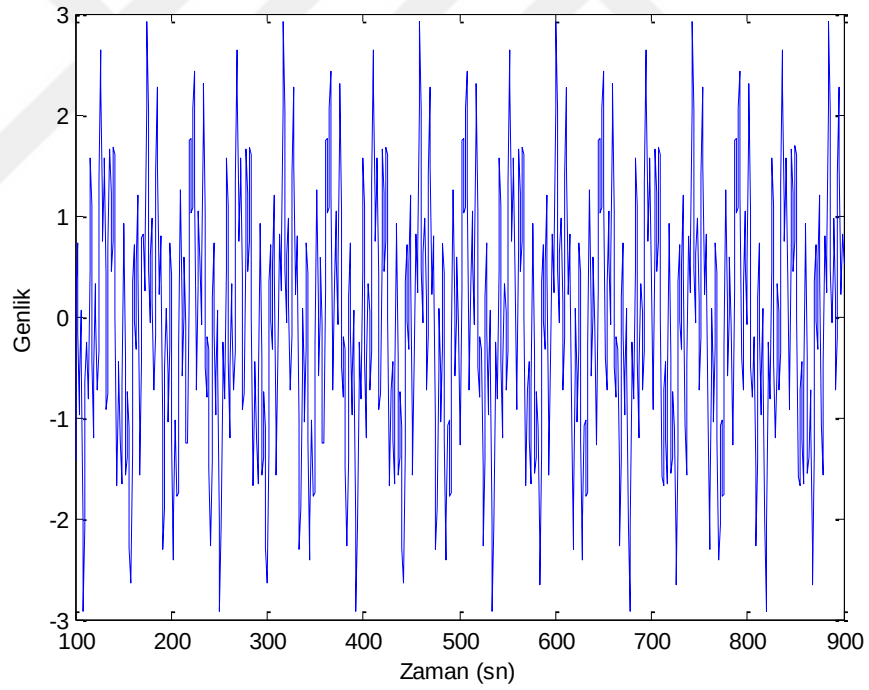
Zaman-frekans ortamında Fourier ile Dalgacık dönüşümünün baz fonksiyonlarının kapladığı alan farklılık gösterir. Dalgacık dönüşümleri sonsuz sayıda baz fonksiyonlarına sahiptir. Dolayısıyla dalgacık analizi Fourier analizinde ortaya çıkmayan detayların görülebilmesinde çok daha başarılıdır (Şekil 2.14 ve 2.15). Karşılaştırma amacıyla içerisinde 4,5, 25 ve 100 Hz'lik bileşenleri içeren sinüzoidale Fourier dönüşümü ve dalgacık dönüşümü uygulanmıştır (Şekil 2.16, 2.17 ve 2.18).



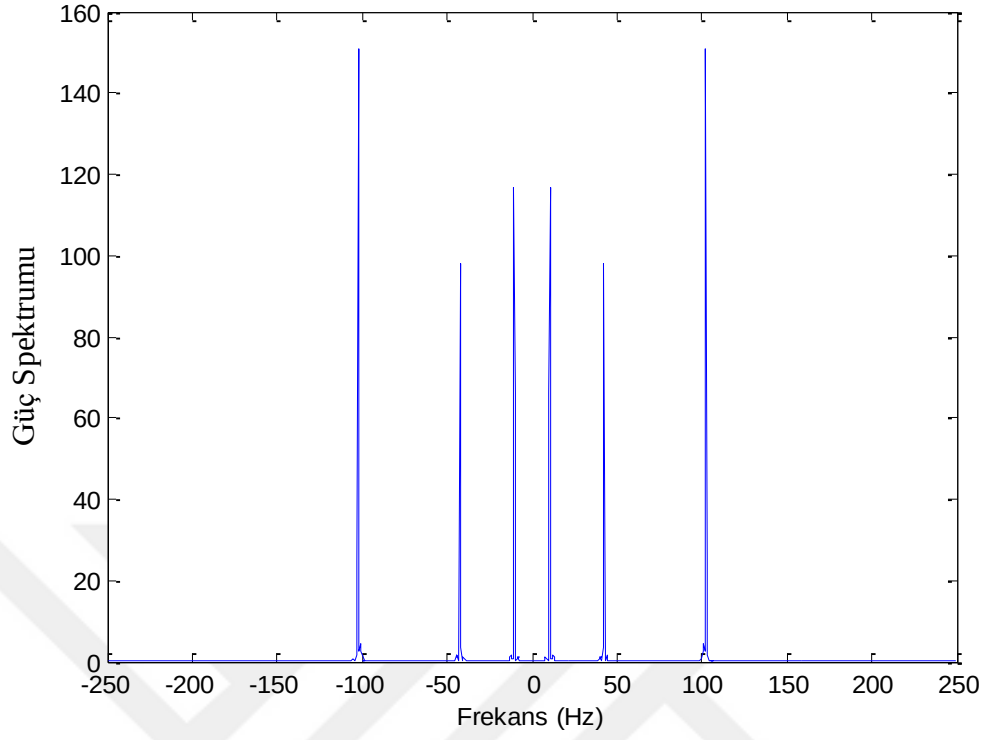
Şekil 2.14 Fourier baz fonksiyonlarının zaman-frekans düzlemini kaplaması (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek).



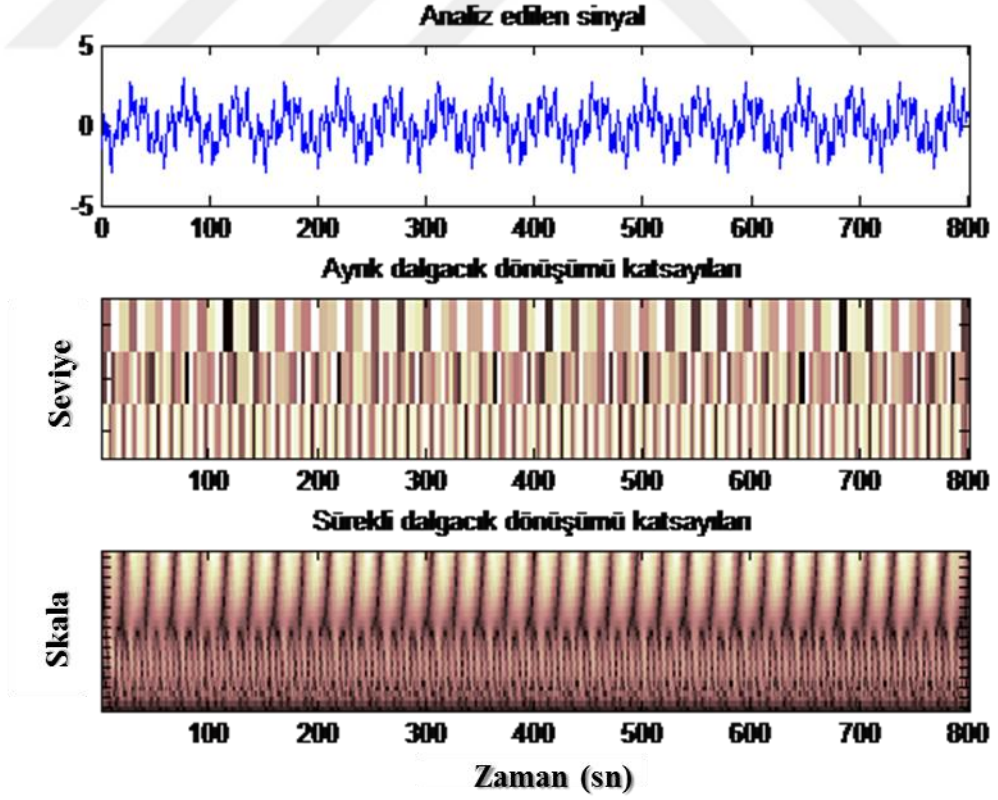
Şekil 2.15 Daubechies dalgacık baz fonksiyonunun zaman-frekans düzlemini kaplaması (Misiti ve diğer., 2009’den değiştirilerek).



Şekil 2.16 5, 25 ve 100 Hz’lik bileşenleri içeren sinüzoidal.



Şekil 2.17 5, 25 ve 100 Hz'lik bileşenleri içeren sinüzoidalın Fourier dönüşümü sonucu.



Şekil 2.18 Analiz edilen sinyalin ayrık ve sürekli dalgacık dönüşümü sonuçları.

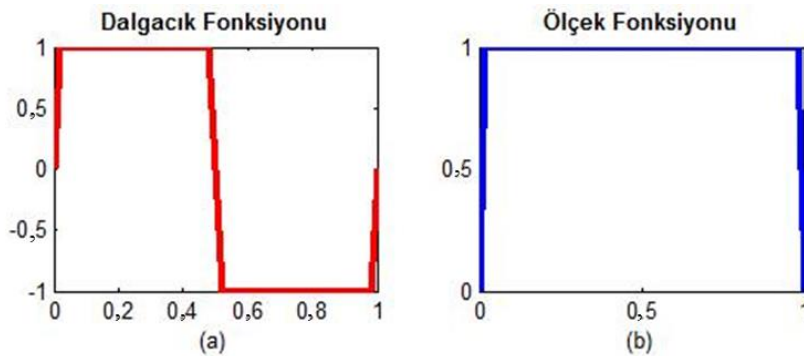
2.6 Dalgacık Ailesi

Dalgacık dönüşümü ile Fourier Dönüşümü arasındaki en önemli farklardan birisi dalgacık dönüşümünün değişken çözünürlüklü olmasıdır. Dalgacık dönüşümünde sinyal işleme için en uygun dalgacık türünü seçebilme imkanı vardır. Ancak Fourier dönüşümüne göre dalgacık dönüşümü daha fazla işlem süresi gerektirir (Walker, 1997). Dalgacık ailelerinden kullanışlı olan dalgacık türleri MATLAB'ın dalgacık aracında (wavelet toolbox) bulunmaktadır (Misiti ve diğer., 2009). Bu dalgacıkların her biri farklı özelliktedir. Bu dalgacıklar ve özellikleri şu şekildedir.

Haar Dalgacı: Dalgacık ailesi içerisindeki en eski ve basit ortonormal dalgacık türüdür ve basamak fonksiyonuna benzemektedir. Süreksiz ve simetriktir. Analizi ortogonaldır. Ayırık ve sürekli dalgacık dönüşümünde kullanılabilir. Daubechies'in db1 dalgacı ile benzerdir. Dalgacığın genişliği 1, filtrenin genişliği ise 2'dir (Şekil 2.19).

Dalgacık fonksiyonunda; $0 \leq x < 0,5$ ise $\psi(x)=1$ ve $0,5 < x \leq 1$ ise $\psi(x)=-1$, diğer durumlarda $\psi(x)=0$.

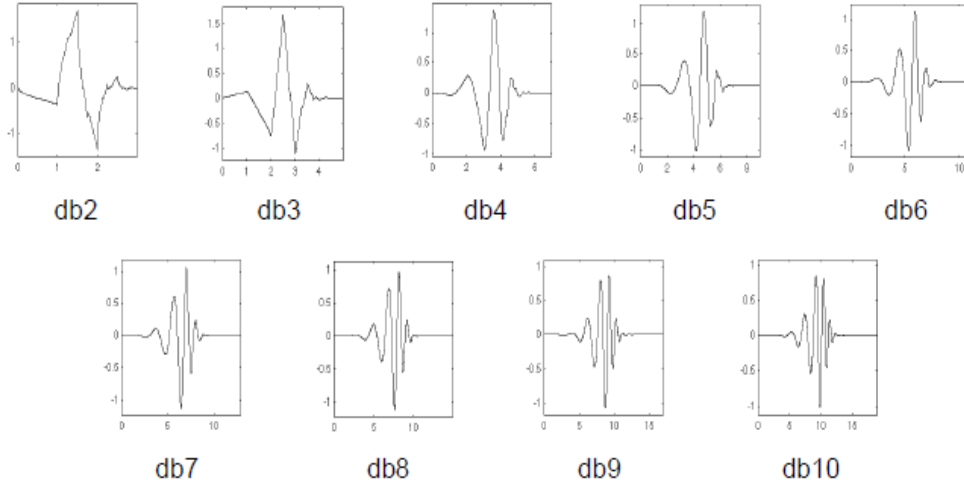
Ölçek fonksiyonunda ise; $0 \leq x \leq 1$ ise $\phi(x)=1$, diğer durumlarda $\phi(x)=0$.



Şekil 2.19 Haar dalgacık fonksiyonu ve ölçek fonksiyonu.

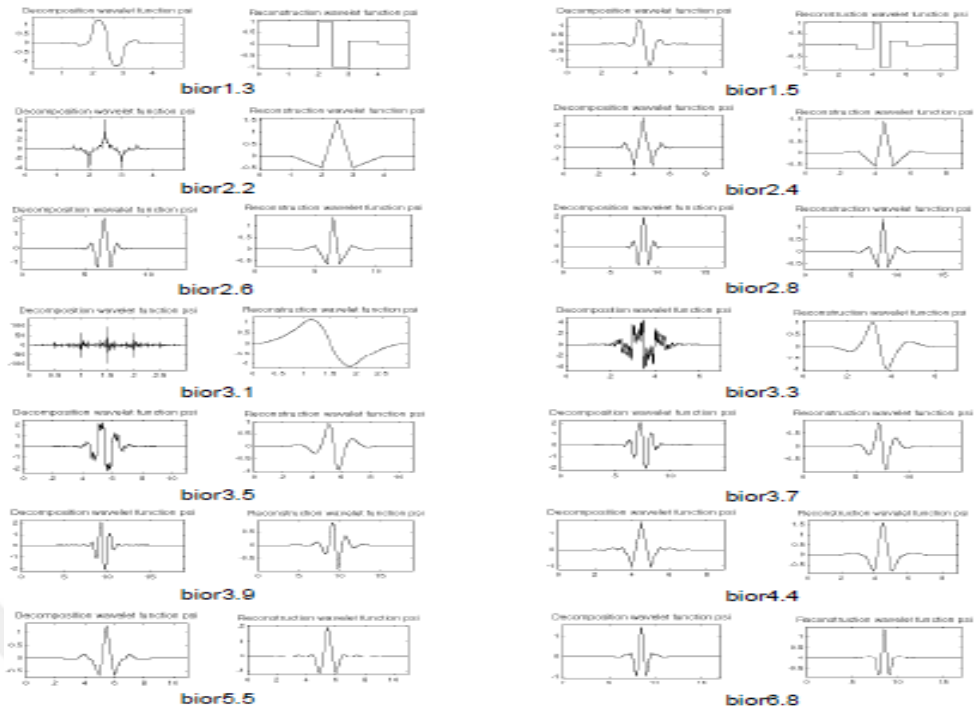
Daubechies Dalgacıkları: Haar dalgacığında olduğu gibi açık matematiksel ifadeleri yoktur ve kısa ismi dbN şeklindedir. N daubechies dalgacıkları içerisindeki seçilen

dalga türünü göstermektedir. Analiz ortogonaldır ve bu dalgacıklar simetrik değildir. Hem sürekli hem ayırık dalgacık dönüşümü yapabilmektedir. db1 dalgacığı haar dalgacığıyla aynıdır (Şekil 2.20).



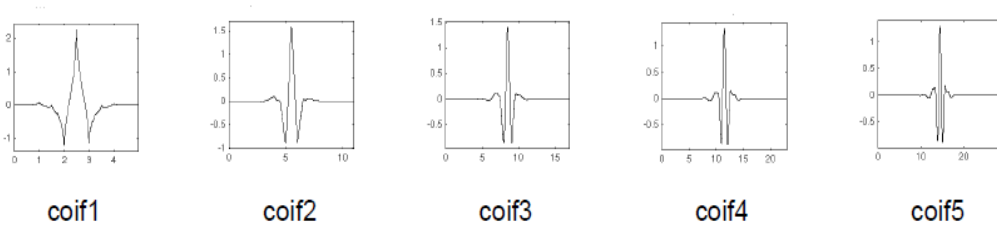
Şekil 2.20 Daubechies dalgacıkları (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

Biortogonal Dalgacıklar: Biortogonal dalgacıkların açık ifadeleri yoktur. Simetriktirler. Hem ayırık hem sürekli dönüşümde kullanılabilirler. Kısa ismi 'bior' dur (Şekil 2.21).



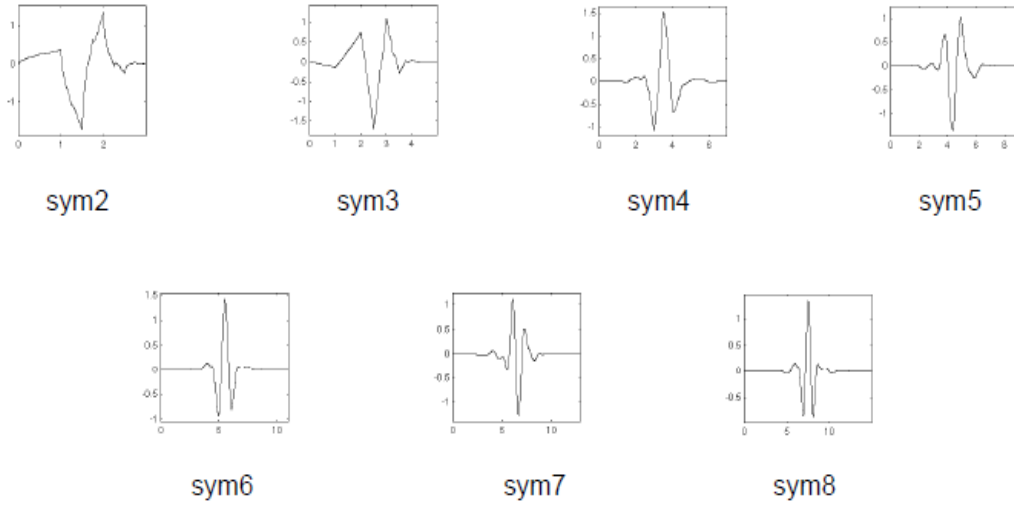
Şekil 2.21 Biortogonal dalgacıları ayrıştırma ve yeniden oluşturma (Misiti ve diğer., 2009’dan değiştirilerek alınmıştır).

Coiflet Dalgacıları: Analiz ortogonaldır ve simetriye yakındırlar. Kısa ismi ‘coif’ şeklindedir. N Coiflet dalgacığının derecesi olmak üzere dalgacığın uzunluğu $6N-1$ ’dir. Ayrık ve sürekli dalgacık dönüşümü için uygundur (Şekil 2.22).



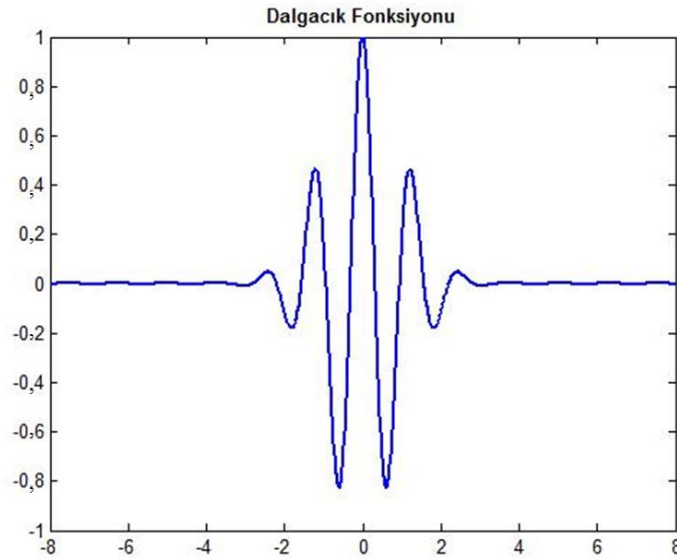
Şekil 2.22 Coiflet dalgacıları (Misiti ve diğer., 2009’dan değiştirilerek alınmıştır).

Symlet Dalgacıları: Simetriye yakındırlar ve analiz ortogonaldır. N derece olmak üzere symlet dalgacığının uzunluğu $2N-1$ kadardır. Sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılabilir. Kısa yazılışı ‘sym’ şeklindedir. Daubechies dalgacığının değiştirilmesiyle elde edilmiştir ve bu iki dalgacık ailelerinin özellikleri benzerdir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Symlet dalgacıkları (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

Morlet Dalgacı: Matematiksel ifadesi $e^{(-x^2/2)} \cdot \cos(5x)$ şeklindedir. Simetriktir. Analiz ortogonal ya da biortogonal değildir. Ölçek fonksiyonu yoktur. Bu yüzden ayrık dalgacık dönüşümü yapılamaz sadece sürekli dalgacık dönüşümü yapılabilir (Şekil 3.24).



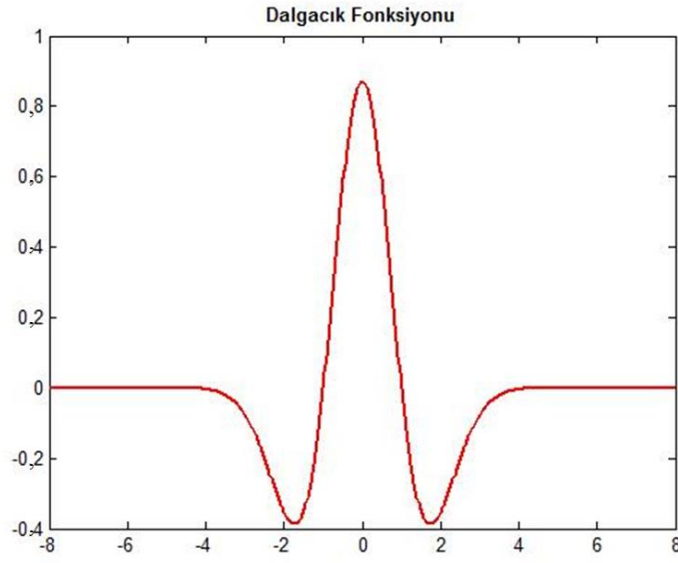
Şekil 2.24 Morlet dalgacık fonksiyonu.

Meksika Şapkası (Mexican Hat) Dalgacı: Simetriktir. Analiz ortogonal ya da biortogonal değildir. Morlet dalgacığında olduğu gibi ölçek fonksiyonları

olmadığından sadece sürekli dalgacık dönüşümü yapabilirler. Mexican-Hat dalgacığ teorik olarak,

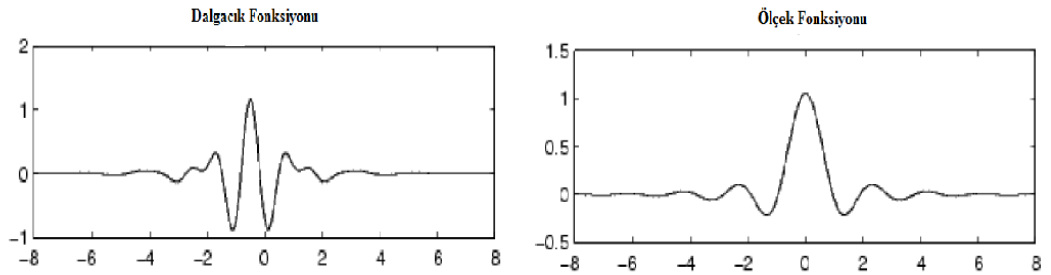
$$\psi(t, b, a) = \frac{[(t-b)/a]^2 - 1}{\sqrt{2\pi}a^3} e^{-0.5((t-b)/a)^2} \quad (2.34)$$

şeklinde gösterilir. b yatay ekseninde öteleme birimini ifade ederken, a, dalgacık fonksiyonu ölçekleme sayıdır. t ise zaman eksenini ifade eder (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 Meksika şapkası dalgacık fonksiyonu.

Meyer Dalgacığ: Analiz ortogonaldır. Açık matematiksel ifadeleri yoktur. Sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümü yapabilir. Simetrik (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 Meyer dalgacık ve ölçek fonksiyonu (Misiti ve diğer., 2009'dan değiştirilerek alınmıştır).

2.7 Yönlü Türevler ve Düşey Türev Metodu

$\varphi(x, y)$ yatay bir düzlemde ölçülen bir skaler fonksiyon olarak kabul edelim. $\varphi(x, y)$ skaler fonksiyonunun yatay türevi sonlu farklar metodu veya nümerik türevinin alınması ile bulunur. Δx ve Δy örnekleme aralığına sahip $\varphi_{i,j}$ fonksiyonunun türevi yaklaşık olarak şu şekilde bulunur.

$$\frac{d\varphi(x,y)}{dx} \approx (\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j})/2\Delta x \quad \begin{matrix} i=1,2,3,\dots \\ j=1,2,3,\dots \end{matrix} \quad (2.35)$$

$$\frac{d\varphi(x,y)}{dy} \approx (\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j})/2\Delta y \quad \begin{matrix} i=1,2,3,\dots \\ j=1,2,3,\dots \end{matrix} \quad (2.36)$$

Yatay türevler en iyi Fourier Dönüşümüyle alınır. Yatay türevler diferansiyel teoremine göre şu şekilde bulunur (Blakely, 1995).

$$\mathfrak{F}\left[\frac{d^n \varphi}{dx^n}\right] = (ik_x)^n * \mathfrak{F}[\varphi] \quad (2.37)$$

$$\mathfrak{F}\left[\frac{d^n \varphi}{dy^n}\right] = (ik_y)^n * \mathfrak{F}[\varphi] \quad (2.38)$$

$(ik_x)^n$ ve $(ik_y)^n$ burada x ve y ye göre yatay düzlemde n. derece türevleri hesaplamada kullanılan filtrelerdir.

Eğer φ bir potansiyel ise düşey gradyenti hesaplanabilir ve 2. dereceden düşey türevi, Laplace denklemindeki $\nabla^2 \varphi = 0$ olduğundan şu şekilde bulunur.

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \quad (2.39)$$

Eğer φ yatay düzlem üzerinde ölçülmüşse Laplace denklemi (2.37) ve (2.38) denklemleri yardımıyla Fourier alanına aşağıdaki gibi dönüştürülebilir.

$$\begin{aligned}\Im \frac{\partial^2}{\partial z^2} &= (k_x^2 * \Im|\varphi|) + (k_y^2 * \Im|\varphi|) \\ &= |k|^2 \Im[\varphi]\end{aligned}\quad (2.40)$$

Yatay düzlem üzerinde ölçülen potansiyel değerin ikinci düşey türevi şu 3 adımla hesaplanabilir:

1. Potansiyel alanın Fourier dönüşümünün alınması,
2. Dönüşümün $|k|^2$ ile çarpılması,
3. Çıkan çarpımın ters Fourier dönüşümü ile tekrar uzunluk ortamına dönüşümü.

Potansiyel alanın $|k|^2$ ile çarpılması büyük dalga boylu bileşenlerin karşısında alanın küçük dalga boylu bileşenlerini öne çıkarmaktır.

Gravitenin düşey çekimi $g_z = \partial/\partial u$ şeklinde verilir ve Fourier Dönüşümü;

$$\Im[g_z] = |k| * \Im[U] \quad (2.41)$$

şeklinde yazılır (Blakely, 1995). Benzer şekilde herhangi bir $\hat{f}$ yönündeki toplam alan anomalisi;

$$\begin{aligned}\Im[\Delta T] &= -(f * k) \Im[V] \\ &= -\theta_f * |k| * \Im[V]\end{aligned}\quad (2.42)$$

$$\theta_f = \hat{f}_z + [(\hat{f}_x * k_x) + (\hat{f}_y * k_y)]/|k| \quad (2.43)$$

şeklindedir. Denklemler düzenlenirse;

$$\Im[U] = 1/|k| * \Im[g_z] \quad k \neq 0 \quad (2.44)$$

$$\Im[V] = -1/(\theta_f * |k|) * \Im[\Delta T] \quad k \neq 0 \quad (2.45)$$

elde edilir. Bu denklemler yatay yüzeyde ölçülen potansiyellerin düşey gravite anomalilerini temsil eder.

2.8 Sınır Analizi

Cordell ve Grauch (1982;1985) tarafından ilk defa kullanılan bu yöntemde kayaçların kütle yoğunluklarında veya mıknatıslanmalarındaki ani değişimlerin yerlerinin saptanması amaçlanmıştır. Daha sonra Blakely (1995) tarafından yöntem geliştirilmiş yatay gradyen genlikleri kontur haritaları üzerinde en büyük değerlerin belirlenmesi için genelleştirilmiştir. Bu yöntem üç adımda gerçekleştirilmektedir.

- Yapma gravite anomalisinin hesaplanması,
- Yatay gradyen genliğinin hesaplanması,
- En büyük yatay gradyen değerinin hesaplanması.

Yatay gradyen genlikleri ise şu şekilde hesaplanır (Cordell ve Grauch, 1985).

$$h(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial y}\right)^2} \quad (2.46)$$

Yatay gradyen genlikleri kaynağın sınırlarında her zaman bir maksimum noktada bulunabilmesi için şu koşulları sağlamalıdır (Özyalın, 2003):

1. Bölgesel manyetik alan düşey olmalıdır.
2. Kaynak manyetizasyon yönü düşey olmalıdır.
3. Kontak izole edilmiş olmalıdır.
4. Kaynak kalın olmalıdır.

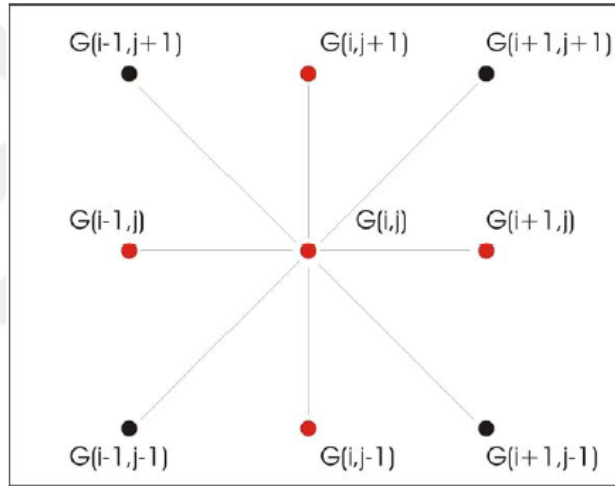
Eğer 1. koşul sağlanmıyorsa elde edilen en büyük değerler yapı sınırlarından kaymış şekilde olur. 4. koşul sağlanmıyorsa ise daha düşük değerler yapı sınırlarına paralel görülebilir (Roest ve Pilkington, 1993; Philips, 2001). Maksimum yatay genliğinin hesaplanması için herhangi bir veri serisinde en az üç noktanın bulunması

gerekmektedir. Her profil üzerinde i 'nci noktadaki değeri g_i olmak üzere, sırasıyla bir önceki ve bir sonraki noktaların değerleri, g_{i-1} , g_{i+1} ise bu noktanın maksimum olup olmadığını şu şekilde belirleriz.

$$g_{i-1} < g_i > g_{i+1} \quad (2.47)$$

Bu işlem için en az beş noktanın biliniyor olması gerekmektedir.

i ve j 'nci noktada değeri $g_{i,j}$ olmak üzere diğer sekiz nokta ile karşılaştırma yapılarak maksimum genlikli olan noktanın yeri ve genliği belirlenir (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 Yatay gradyan haritası üzerinde maksimum noktanın bulunması için sekiz komşu noktanın konumu (Blakely ve Simpson, 1986'dan değiştirilmiştir).

$$\begin{aligned} g_{i-1,j} &< g_{i,j} > g_{i+1,j} \\ g_{i,j-1} &< g_{i,j} > g_{i,j+1} \\ g_{i+1,j-1} &< g_{i,j} > g_{i-1,j+1} \\ g_{i-1,j-1} &< g_{i,j} > g_{i+1,j+1} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Bu koşulları sağlayan maksimum gradyan şu şekilde bulunur.

$$g_{\max} = ax_{\max}^2 + bx_{\max} + g_{i,j} \quad (2.49)$$

$$x_{\max} = -bd/2a \quad (2.50)$$

$$a = \frac{1}{2}(g_{i-1,j} - 2g_{i,j} + g_{i+1,j}) \quad (2.51)$$

$$b = \frac{1}{2}(g_{i+1,j} - g_{i-1,j}) \quad (2.52)$$

Buradaki d ise grid bölmeleri arası mesafedir.

2.9 Sınır Belirleme Süzgeçleri

Potansiyel alan kaynaklarının sınırlarının belirlenmesi amacıyla birçok sınır belirleme süzgeci önerilmiştir. Sınır belirleme süzgeçlerinin ilk nesili olan toplam yatay türev ve analitik sinyal (AS) süzgeçlerinin kullanımı artık standart bir durum almıştır. Toplam yatay türev (TYT) süzgeci Cordell ve Grauch (1985) tarafından izleyen bağıntı ile verilmiştir.

$$TYT = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (2.53)$$

TYT çıkışının en yüksek genlik değerleri kaynak sınırları üzerinden geçmektedir. Analitik sinyal (AS) genliği 2B durum için Nabighian (1972) tarafından,

$$|AS| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad (2.54)$$

bağıntısı ile ve 3B AS genliği ise Roest ve diğer., (1992) tarafından izleyen bağıntı ile verilmiştir:

$$|AS| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (2.55)$$

AS süzgeci özellikle yakın yüzey arama amaçlı toplanan potansiyel alan verilerinde sıklıkla kullanılan bir süzgeçtir. AS genliği kaynak yapıların üzerinde çan

şekilli belirtiler sunar. TYT ve AS süzgeçlerinin zayıf yönlerinden birisi verideki olası gürültü içeriğini kuvvetlendirmesidir.

Miller ve Singh (1994) tarafından geliştirilen eğim açısı (tilt angle) süzgeci izleyen bağıntı ile verilmiştir:

$$Tilt = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{TYT} \right) \quad (2.56)$$

Eğim açısı, düşey türevin toplam yatay türeve oranlanarak normalleştirilmiş şeklidir. Eğim açısı, hem yakın yüzey hem de derin kaynakların etkilerini aynı genlik seviyesinde veren bir süzgeçtir. Eğim açısının genliği yapı üzerindeyken pozitif, yapı kenarı üzerindeyken sıfır ve yapının dışında ise negatif değerler alır. Genlik değerleri $-\pi/2$ ve $\pi/2$ arasında değişir ve bu sayede yorumlanması oldukça kolaydır. Eğim açısı temelde plan veya şekil belirleyici bir süzgeçtir. Bu sebepten dolayı, Verduzco ve diğer., (2004) eğim açısının toplam yatay türevinin sınır belirlemede kullanılabilir bir yaklaşım olacağını göstermiştir. Eğim açısının toplam yatay türevi (THDR)

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial Tilt}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial Tilt}{\partial y} \right)^2} \quad (2.57)$$

bağıntısıyla verilir. Eğim açısının toplam yatay türevi, türev tabanlı bir süzgecin tekrar türevi alınarak hesaplandığından verideki olası gürültünün artmasına neden olur. Diğer bir zayıf yönü ise derin yapılara karşı etkili sonuç üretememesidir. Öte yandan en kullanışlı özelliği ise mıknatıslanma yönünden bağımsız olmasıdır. Bu nedenle, manyetik uygulamalarda sıklıkla başvurulanan bir süzgeçtir.

Dengelenmiş türevler kavramı altında geliştirilen diğer bir süzgeç ise teta açısı süzgecidir. Teta açısı Wijns ve diğer., (2005) tarafından

$$\cos \theta = \left(\frac{TYT}{AS} \right) \quad (2.58)$$

bağıntısıyla verilmiştir. Teta açısı, analitik sinyal genliği kullanılarak toplam yatay türevin normalleştirilmiş şeklidir. Teta açısı; $0 < \theta < \pi/2$ arasında değişir. Bu nedenle, yorumlanması oldukça kolaydır. Yöntemin zayıf noktası ise derin yapıların etkilerini dağınık bir şekilde göstermedir (Arısoy, 2012).

2.10 Analitik Uzanımlar

Yeryüzünde ölçülen gravite ölçülerinde verinin içerisinde yeraltındaki farklı derinliklerde ve sonsuz sayıda kütlelerin etkileri bulunmaktadır. Derindeki yapıların (rejyonel) anomalisini bulabilmek ve yüzeye yakın sığ kütlelerin etkilerini atabilmek için “*yukarı uzanım*”, “*yüzey yoğunluğu*” kavramı ile derindeki anomaliyi araştırmak için de “*aşağı uzanım*” yöntemlerinden yararlanılabilir.

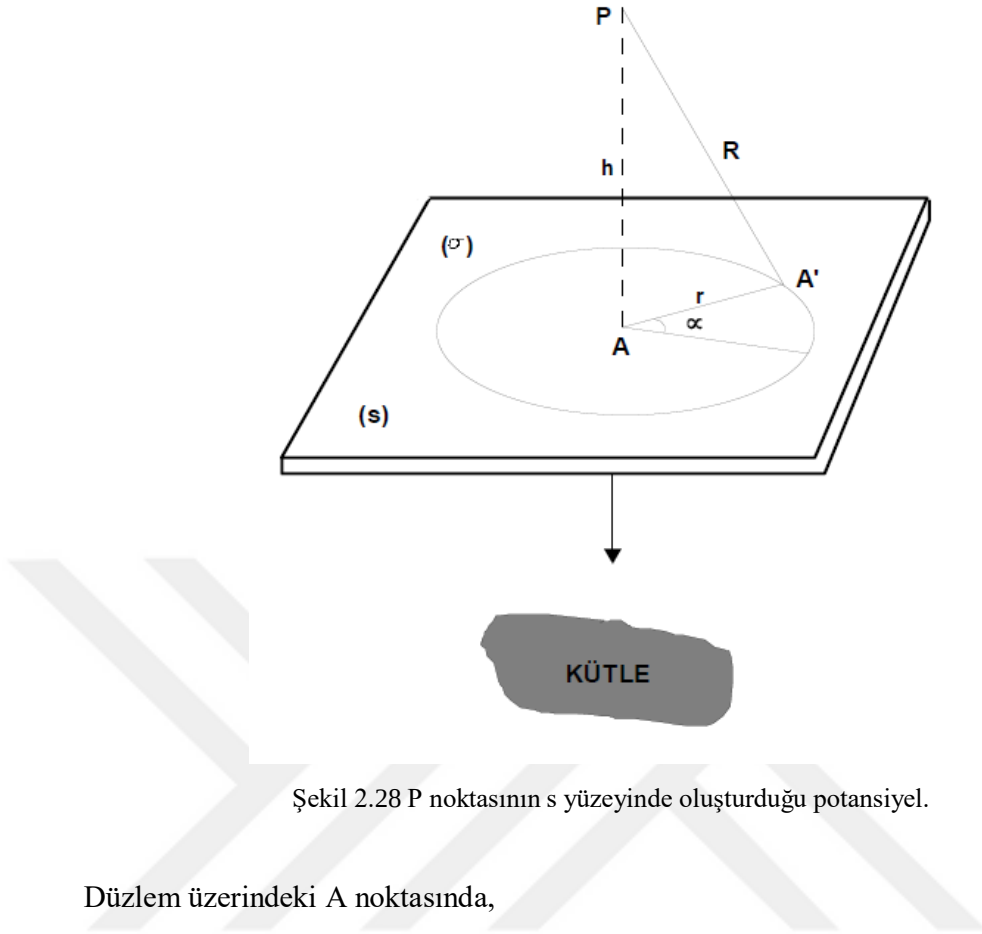
Yeraltındaki belirli şekle sahip bir kütlenin yeryüzünde oluşturduğu (Δg) gravite değeri, düşünülen düzlem üzerindeki σ yüzey yoğunluğu ile oluşabilir. Yüzey yoğunluğu, düşünülen düzlemin 1 cm^2 'sinin kütlesidir. Bir s düzleminde σ yüzey yoğunluğunun düzlemden h yüksekliğindeki bir P noktasındaki oluşturduğu potansiyel şu şekilde gösterilir (Şekil 2.28).

$$W_p = G \int \int_a \frac{\sigma_s}{r} ds \quad (2.59)$$

P noktasındaki gravite alanı ise,

$$g_{(p)} = G \int \int_s \frac{\sigma_s h}{r^3} ds \quad (2.60)$$

şeklinde gösterilir.



$$g_A = \lim_{h \rightarrow 0} g_p \quad (2.61)$$

olur. A'nın gravite alanı ve yüzey yoğunluğu ise şu şekilde verilir.

$$g_A = 2\pi G \sigma_{(A)} \quad (2.62)$$

$$\sigma = (x, y) = (1/2\pi G)g(x, y) \quad (2.63)$$

2.10.1 Aşağı Analitik Uzanım

Daha derinde alınan ölçülerin nasıl olacağı düşünülerek yapılır. Dolayısıyla bu yöntem türev yöntemine benzer. Aşağı analitik uzanım yönetiminde derinlik sınırlaması vardır. Yani derinlik artarsa gürültüde artar.

Aşağı uzanım yukarı uzanım ile ilgilidir. Çeşitli aşağı uzanım katsayılarının bulunması değişik katsayıların kabul edilmesinden dolayıdır. Peters'in aşağı uzanım denklemi,

$$H_{(0,0,h)} \approx 2 \left(b_0 - 2b_2h^2 + \frac{8}{3}b_4h^4 \right) - H_{(0,0,-h)}h \quad (2.64)$$

şeklinde verilmiştir. Burada $H_{(0,0,-h)}$, h uzaklığındaki yukarı uzanımdır. b_0, b_2, b_4 katsayılarını bulmak için,

$$\bar{H}_{(r)} = b_0 + b_2r^2 + b_4r^4 \quad (2.65)$$

alınmış ve en küçük kareler yöntemiyle b_0, b_2, b_4 katsayıları bulunup aşağı uzanım katsayıları hesaplanabilir.

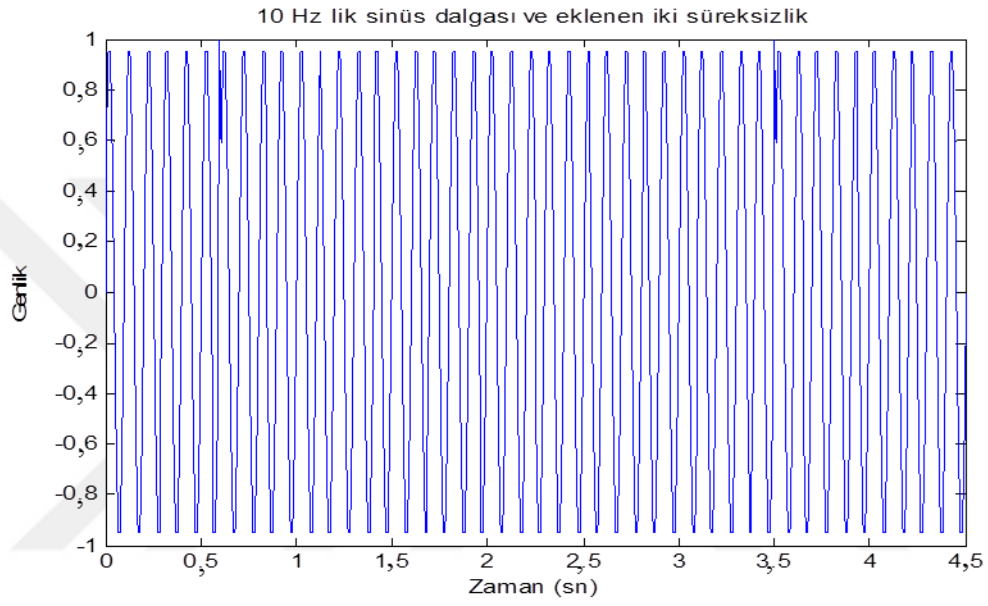
BÖLÜM ÜÇ

KURAMSAL UYGULAMALAR

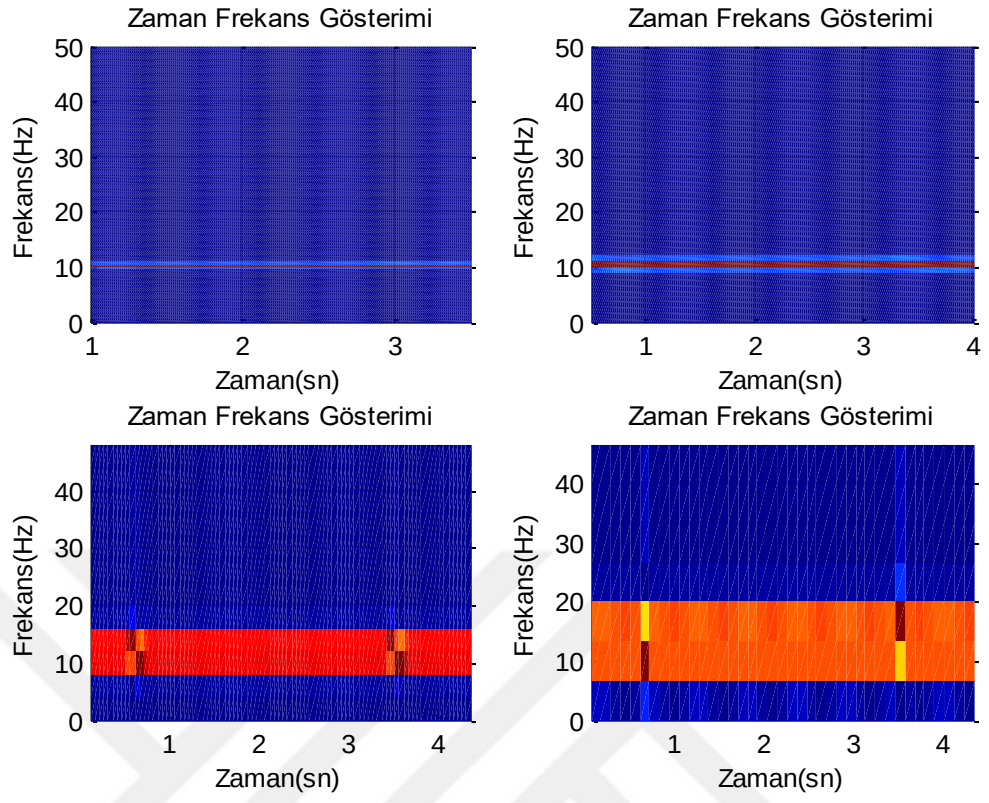
3.1 Tek Boyutlu Veriler Üzerindeki Çalışmalar

10 Hz'lik sinüs dalgasının hem Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü hem de dalgacık dönüşümleri sonuçları incelenecektir. Dalgacık dönüşümünün ayırık ve sürekli dalgacık dönüşüm yöntemleri uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Fonksiyon olarak $\sin(2\pi 10t)$ sinüzoidal seçilerek 100Hz'lik örnekleme frekansına sahip olacak şekilde düzenlenmiş ve içerisine 0,6 ve 3,5 saniyelerde bir süreksizlikler eklenmiştir (Şekil 3.1). İlk olarak Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü uygulanmış ve değişen pencere aralıklarında sinyal içeriğindeki farklılıklar gözlemlenmiştir. Pencere aralığı küçük olduğunda süreksizlikleri saptayabilmiş ancak 10 Hz'lik frekans bileşeninin çözünürlüğü iyi olmadığından bu bileşeni ayırt etmek zorlaşmaktadır. Tam tersi durumda ise bu sefer 10 Hz'lik frekans bileşeni çok net saptanırken frekans çözünürlüğü iyileştiğinden süreksizlikler gözlenememiştir (Şekil 3.2). Buradan çıkan sonuç Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünde pencere uzunluğu küçük olduğunda zaman çözünürlüğü iyi olmakla beraber sinyalin içerisindeki süreksizliklerin belirlenmesi daha kolay olmakta iken frekans çözünürlüğü kötüleştiğinden sinyalin 10 Hz'lik bileşenini ayırt etmek zorlaşmaktadır. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünün sabit uzunluktaki pencerelerle analiz yapmasından kaynaklanan bu dezavantajı gidermek amacıyla yeni yöntemler aranmaya başlanmıştır. Dalgacık dönüşümü bu dezavantajı gideren yöntemlerden birisidir. Sürekli Dalgacık Dönüşümü sonucundaki görüntüde x eksenini zamanındaki y yani skalaya karşılık gelen renkler dalgacık katsayılarının derecesini ifade etmektedir. Yani Sürekli Dalgacık Dönüşümü sonucu sinyalin zaman-ölçek gösterimi elde edilir. Küçük ölçek değerleri yüksek frekansları ifade ederken büyük ölçek değerleri düşük frekansları göstermektedir. Sürekli Dalgacık Dönüşümünde her ölçek için bütün zaman eksenini boyunca katsayılar hesaplandığı için matris boyutu çok büyük olmakta, işlem süresini artırmakta ve programın bellekte çok veri tutmasına neden olmaktadır (Şekil 3.3). Ayırık Dalgacık Dönüşümü ise bu dezavantajı gidermektedir. Ayırık Dalgacık Dönüşümünde her analiz için bir önceki yaklaşım katsayıları kullanılır. Her seviyede yaklaşım ve detay katsayıları elde edilir. Ayırık Dalgacık Dönüşümünde

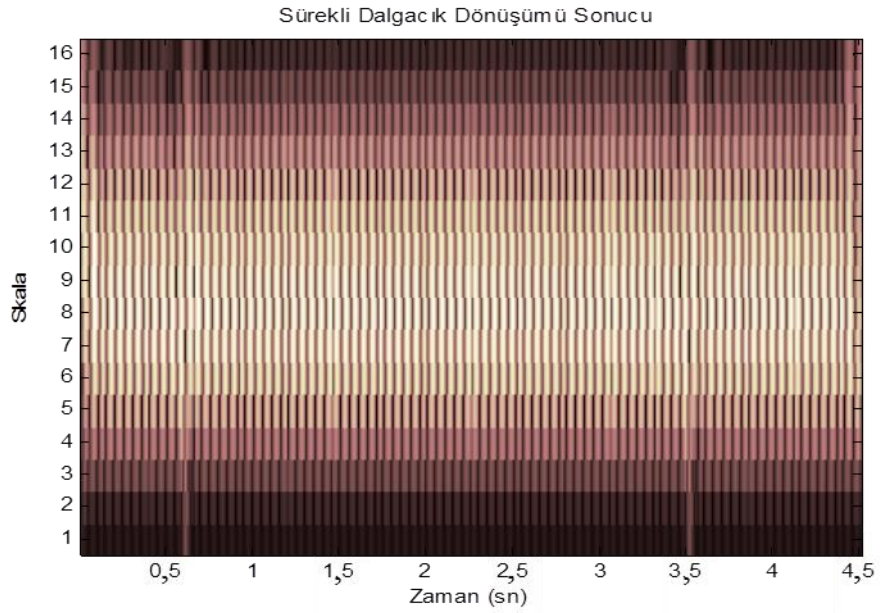
alçak geçişli ve yüksek geçişli filtreler ile sinyal alt bantlara ayrılır. Her örnekleme sonrası veri sayısı iki ile alt örneklemeye tabi tutulduğundan veri sayısı yarıya düşer. Tek boyutlu örnekte ayrık dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen sinyal bileşenlerinden görüldüğü gibi 1. seviye detay sonuçlarında sinyalin içeriğindeki süreksizlikler ayırt edilebilmiştir. Ayrıca diğer seviyelerde sinyale ait alçak ve yüksek frekans bileşenleri görülmektedir (Şekil 3.4).



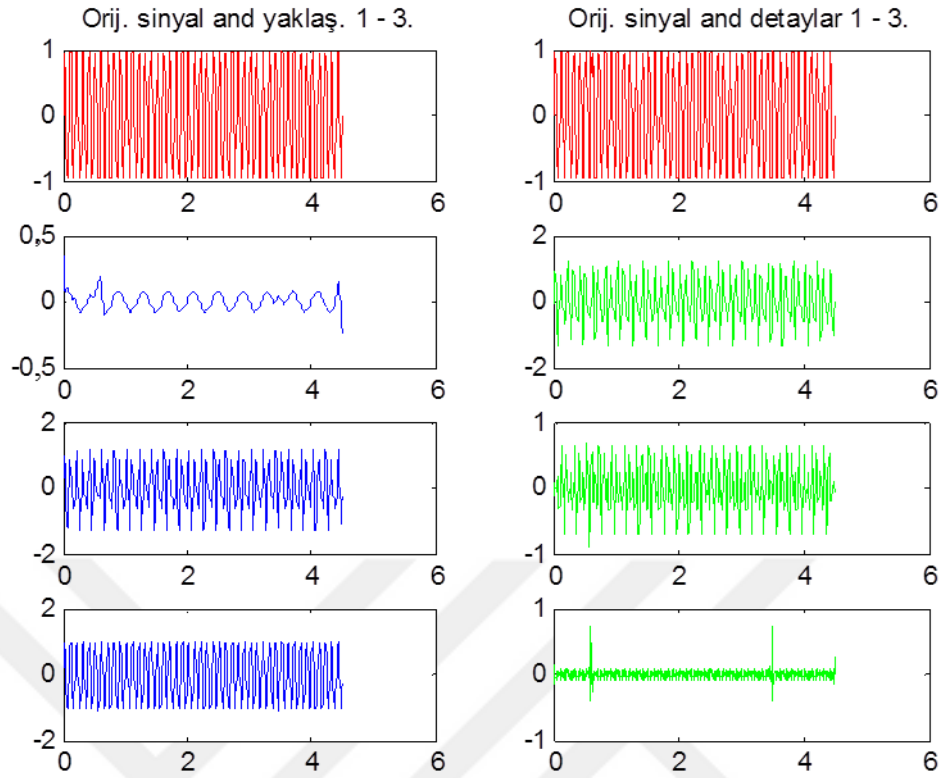
Şekil 3.1 İki süreksizlik barındıran sinüzoidal dalga.



Şekil 3.2 Farklı pencerelerle kısa zamanlı Fourier dönüşümü sonuçları.



Şekil 3.3 Sürekli dalgacık dönüşümü sonucu.

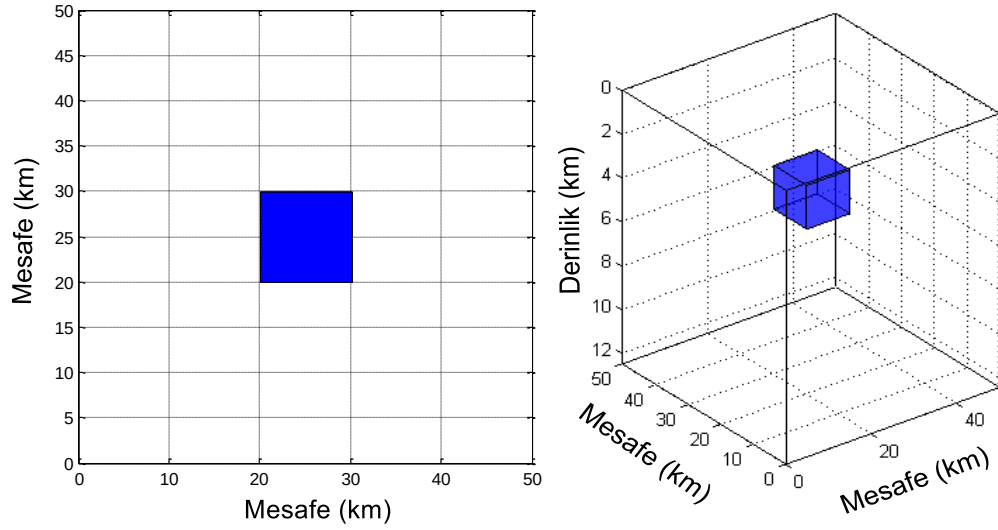


Şekil 3.4 Ayrık dalgacık dönüşümü sonuçları (3 seviye).

3.2 İki Boyutlu Veriler Üzerindeki Çalışmalar

3.2.1 Tek Prizma Örneği

Bu kısımda ilk olarak Potensoft programı yardımıyla tek prizmanın sentetik gravite anomalisi elde edilmiştir. Daha sonra bu sentetik gravite anomalisinin x, y, z yönündeki 2. türevleri, sınır analizi, aşağı analitik uzanımları ve iki boyutlu dalgacık dönüşümü sonuçları karşılaştırılmıştır. İki boyutlu dalgacık dönüşümünü de kendi içinde kıyaslamak amacıyla db3, db2 olmak üzere iki farklı dalgacık kullanılmıştır ve iki seviye dalgacık ayrışımı uygulanmıştır. Buradaki amaç anomaliye neden olan yapının sınırlarını belirleyebilmek ayırt edilip edilmediğini görebilmektir. Buradaki modelde x ve y için başlangıç değerleri 0 olmak üzere 50*50 km'lik bir alan seçilmiştir. Prizmanın x ve y koordinatları sırasıyla 20 ve 30'dur. Alt derinliği beş, üst derinliği ise üçtür. Yoğunluk farkı $0,7 \text{ gr/cm}^3$ verilmiştir (Şekil 3.5).

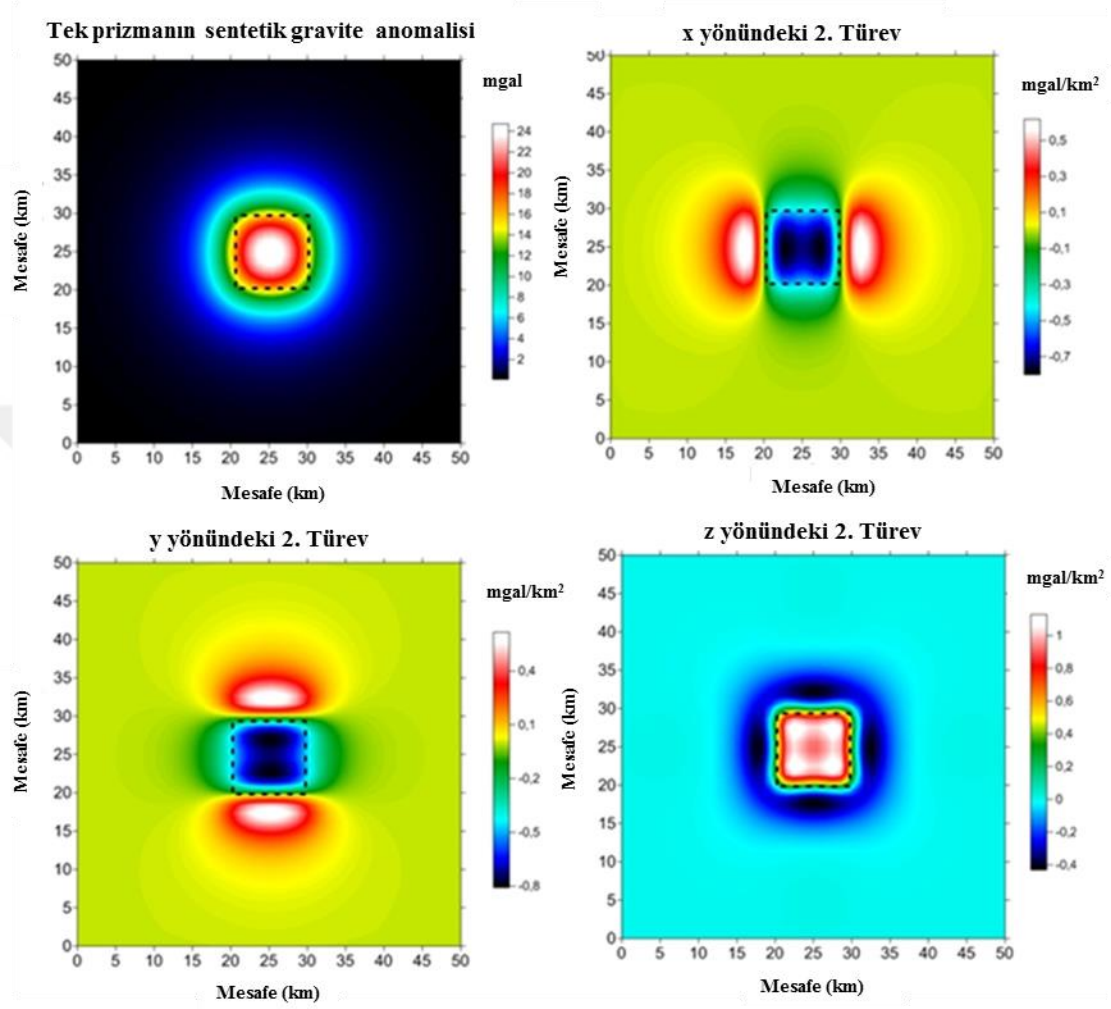


Şekil 3.5 Tek prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.

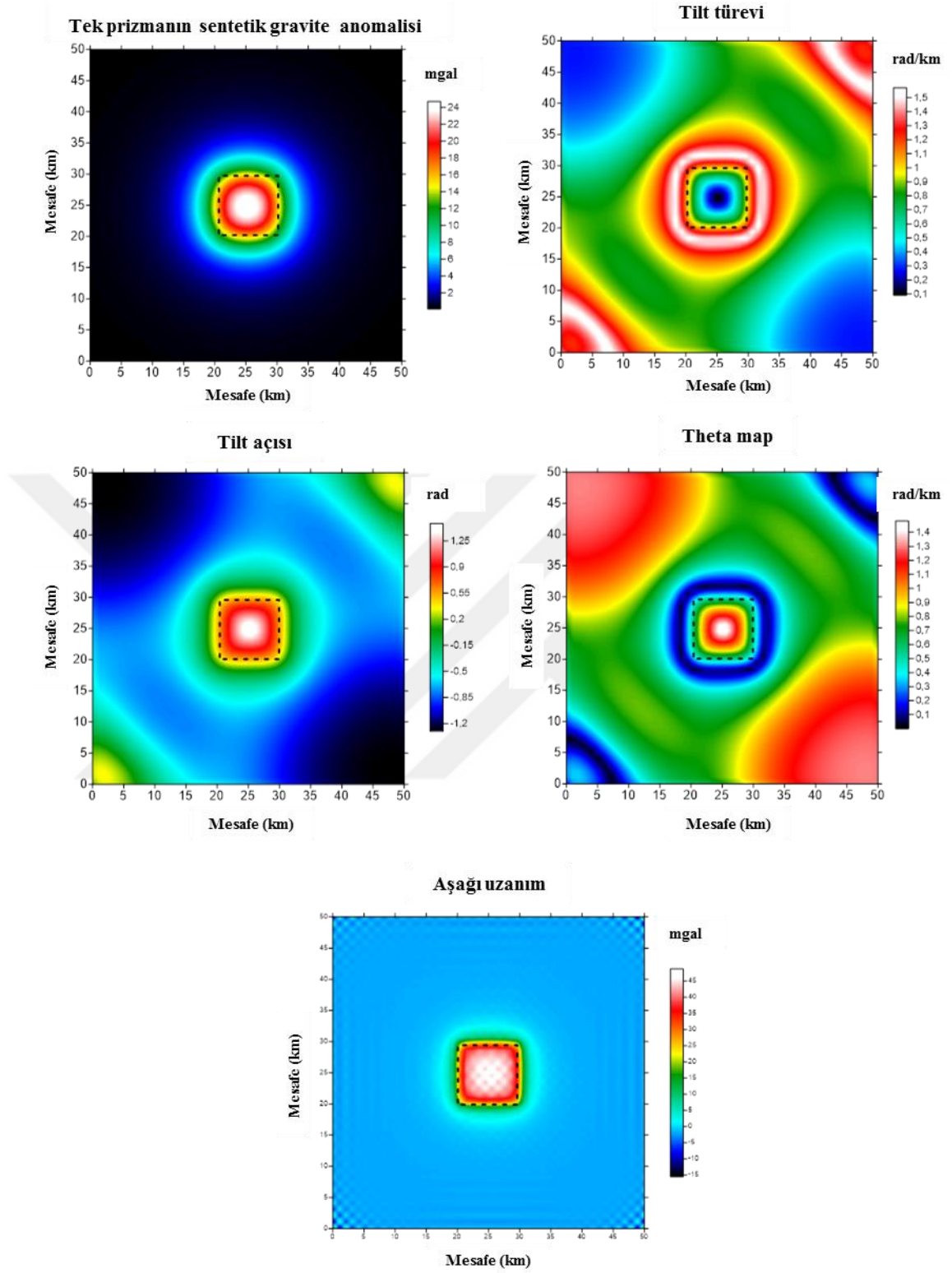
Şekil 3.6’da görüldüğü üzere ikinci türevlerden z yönündeki ikinci türev, x ve y yönündeki ikinci türevlere nazaran yapının sınırlarını belirlemede daha iyi sonuç vermiştir. Ancak x ve y yönündeki ikinci türev sonuçları da anomaliye neden olan yapıyı belirlemede başarılı olmuşlardır. Sınır analizi yöntemleri de ikinci türevler benzeri yapının sınırlarını belirleyebilmiştir. Aşağı analitik uzanımda mesafe birimi (in ground unit) üç verilmiştir. Aşağı analitik uzanımda yapının sınırları tam olarak belirlenebilmiştir (Şekil 3.6, Şekil 3.7). İki boyutlu dalgacık dönüşümleri sonuçlarında ise dikkati çeken kısım seviye arttığında yaklaşım katsayılarında uzun dalga boylu yapılar ortaya çıkmakla beraber detay katsayılarındaki yapının sınırları seviyenin arttığında netliğini kaybetmektedir. Bunun nedeni ise dalgacık dönüşümündeki her alt örnekleme sonrası veri sayısının yarıya düşmesinden kaynaklanmaktadır. db2 veya db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü sonuçlarından birinci seviye dalgacık dönüşümü sonuçlarının ikinci seviye sonuçlarından görüldüğü üzere yapının sınırlarının tespiti konusunda daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca yaklaşım ve anomali farkından yapının sınırları daha net açığa çıkmaktadır (Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11).

Sonuç olarak yönlü ikinci türevler, sınır analizi yöntemleri, aşağı analitik uzanım ve dalgacık dönüşümü beklenen başarıyı göstermişlerdir. Yönlü türevlerden z yönündeki ile aşağı analitik uzanım yapının lokasyonu ve sınırlarını diğer yöntemlere

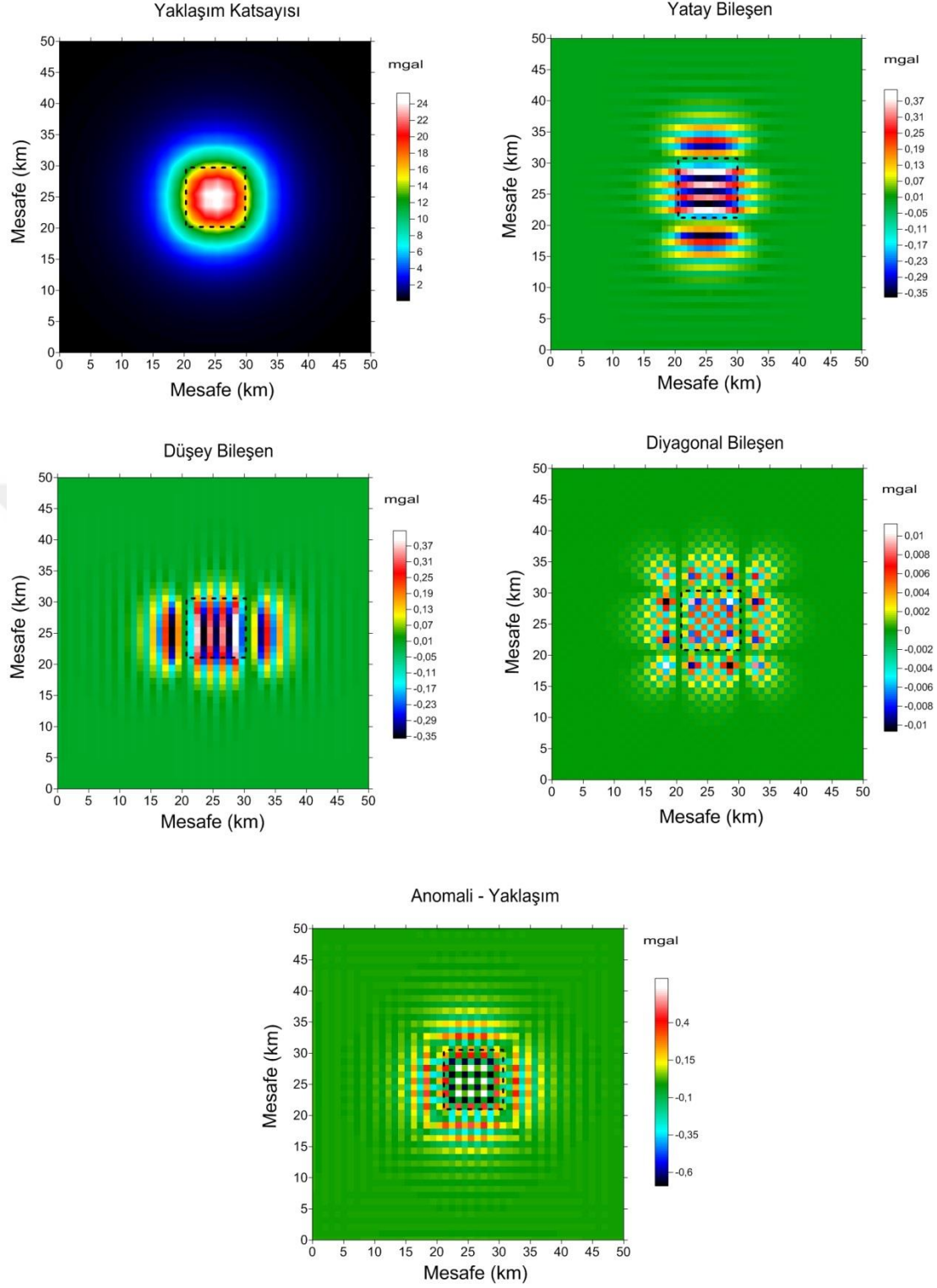
göre çok net vermiştir. Buna karşılık dalgacık dönüşümünde ise detay ve sınır bilgileri dikkat çekmektedir.



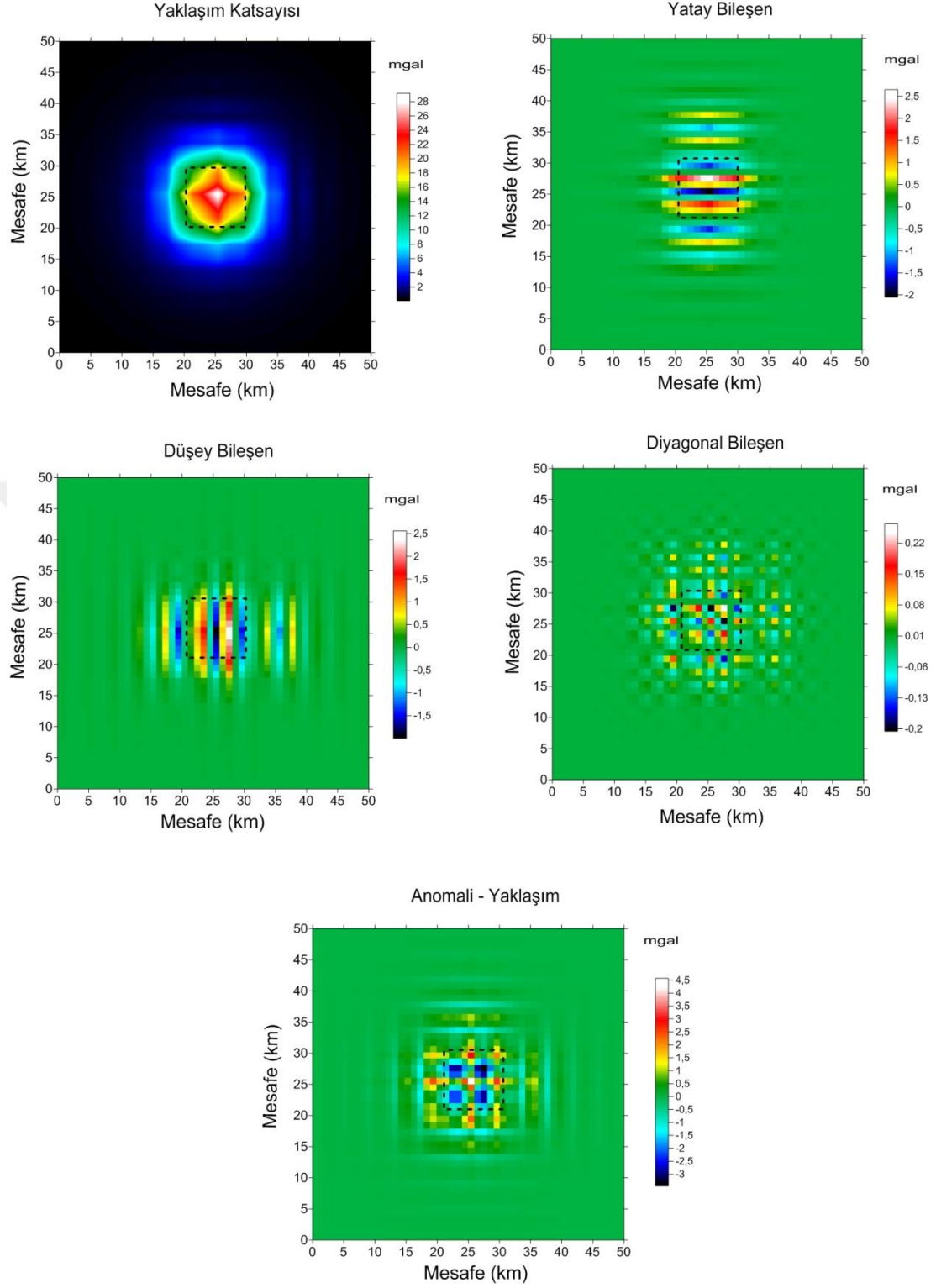
Şekil 3.6 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi ve x, y, z yönlerinde 2. türevleri.



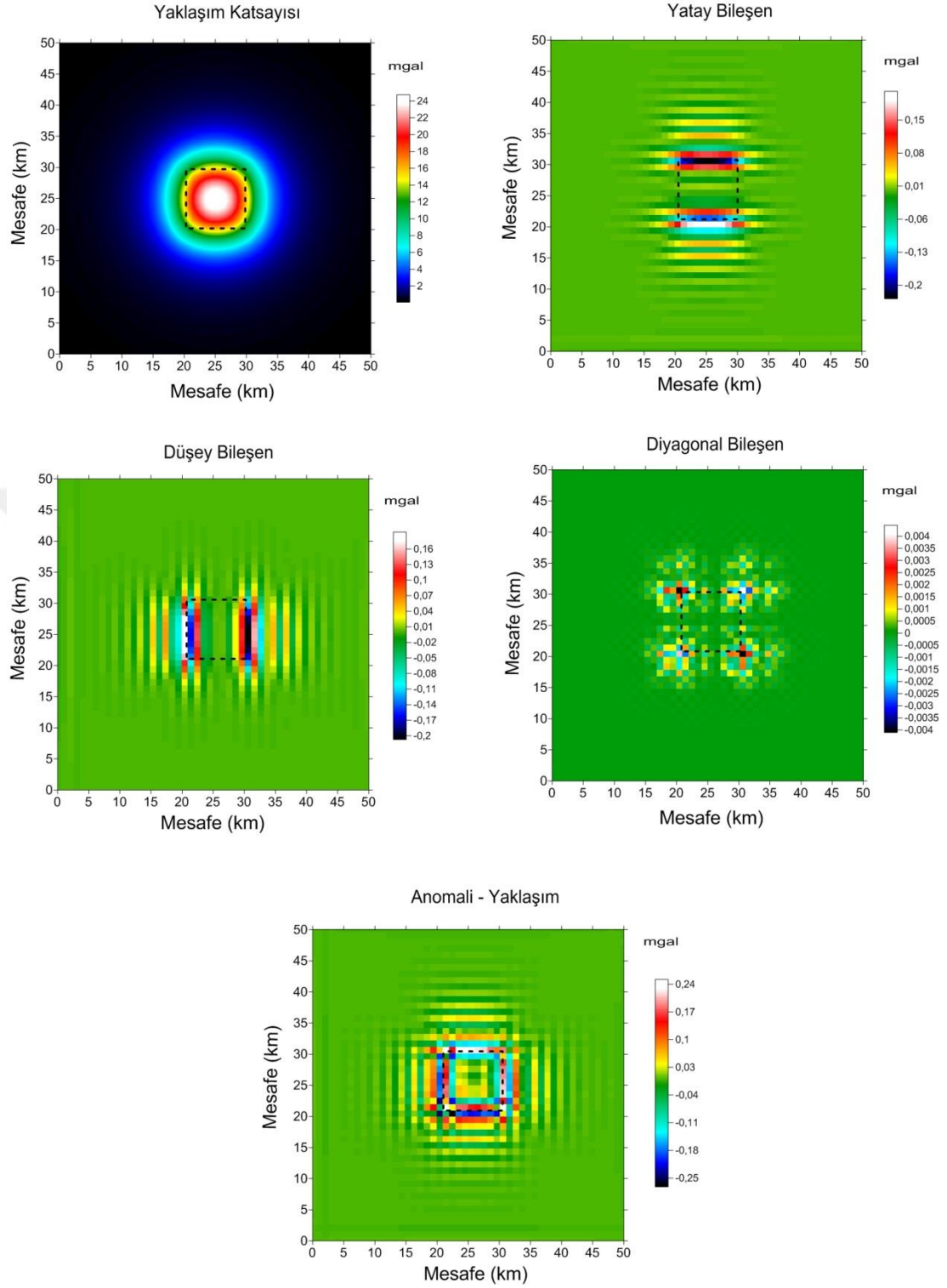
Şekil 3.7 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



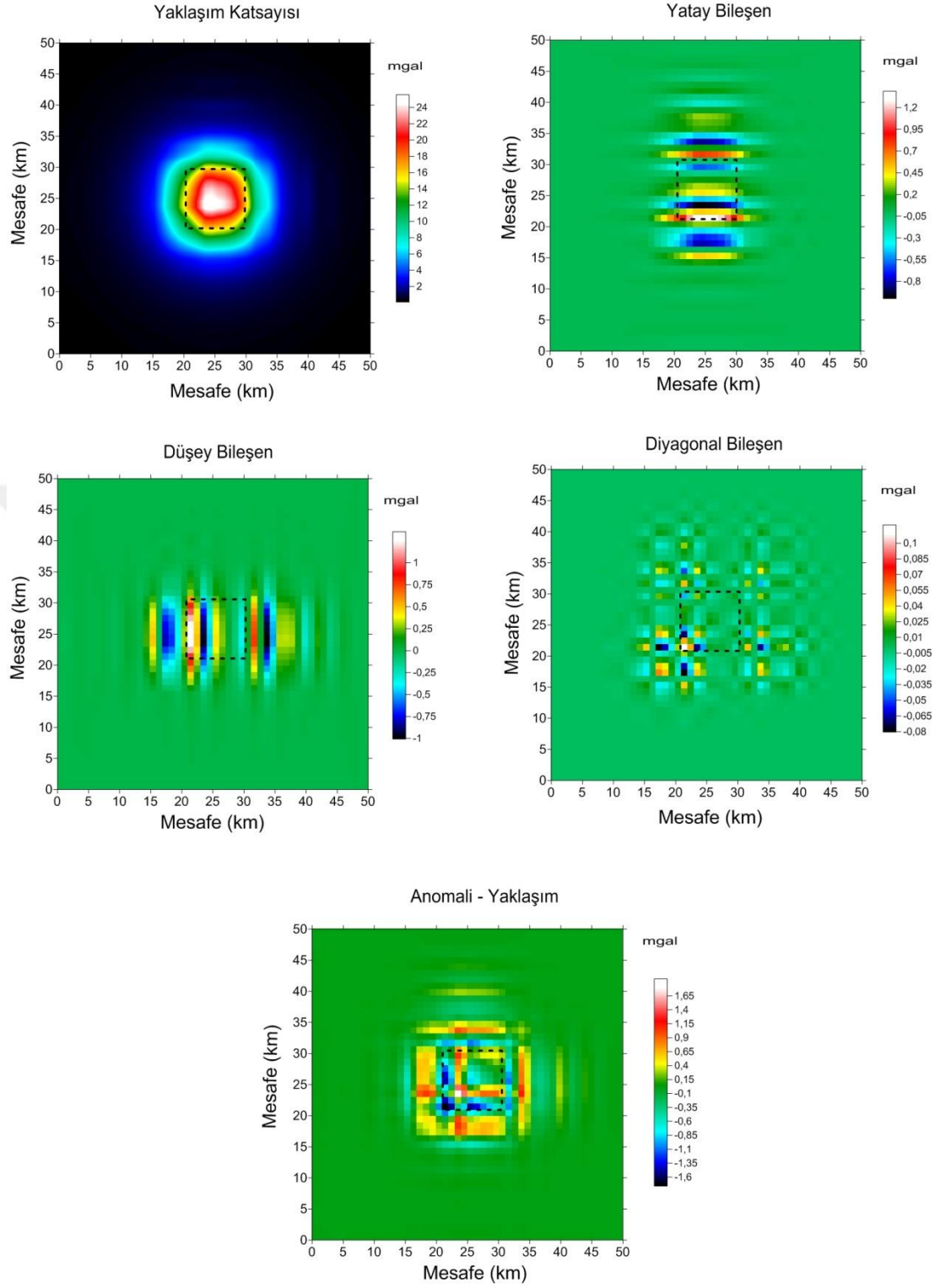
Şekil 3.8 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.9 db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).



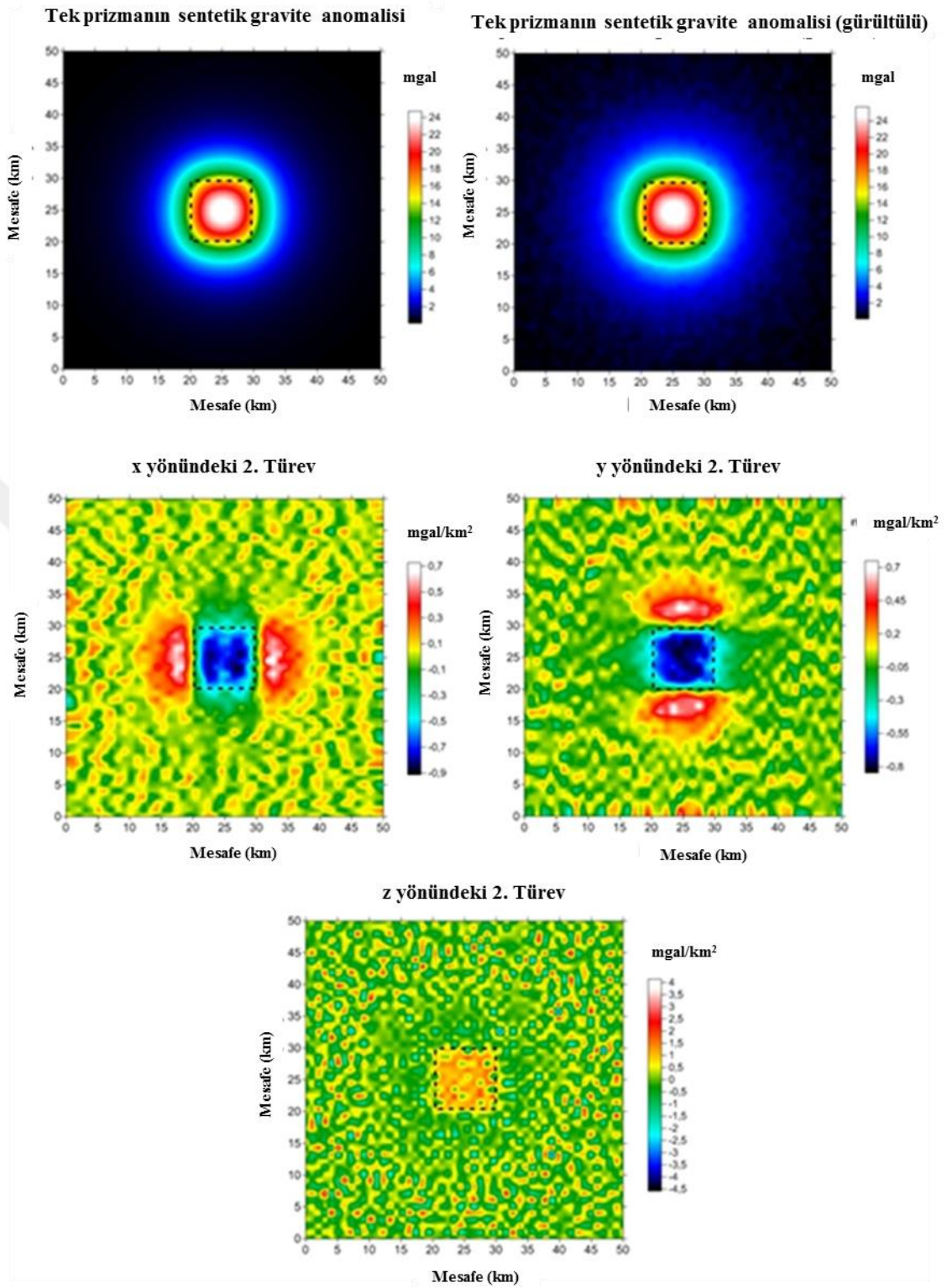
Şekil 3.10 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.11 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).

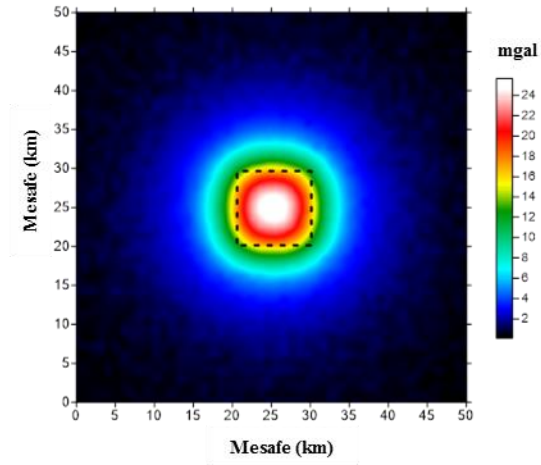
3.2.2 Gürültü Eklenmiş Tek Prizma Örneği

Sonraki aşamada veriye ortalaması sıfır ve varyansı 0,04 olan beyaz Gaussian gürültüsü eklenmiştir. Aynı yöntemler gürültülü veri üzerinde de uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gürültülü veri için aşağı analitik uzanımda mesafe birimi (ground unit) 1,3 alınmıştır. Yönlü türevler yine iyi sonuç vermiştir. Sınır analizi yöntemleri ve aşağı analitik uzanım sonuçlarında yapının yeri ve sınırları bellidir. Dalgacık dönüşümünde db2 dalgacığının birinci seviyesi db2'nin ikinci ve db3'ün birinci ve ikinci seviyelerine göre daha iyi sonuç vermiştir. db2'nin birinci seviyesinde yatay, düşey ve anomali yaklaşım farkı anomalileri yapının sınırları hakkında bilgi verirken diyagonal bileşende göze çarpan bir etki görülmemektedir. Aynı şekilde db3 dalgacığı ile ayrışım sonucu yapının sınırları hakkında göze çarpan sonuçlar elde edilmemiştir. Dalgacık dönüşümünde db dalgacığının on çeşidi de denenmiş olup en iyi sonucu db2 vermiştir. Tilt açısı ve theta map sonuçlarında görüldüğü üzere maksimum değerler yapının merkezinde görülürken tilt türevlerinde maksimum değer yapı sınırları boyunca görülmektedir. x ve y yönündeki türevler dalgacık dönüşümünde yatay ve düşey bileşenlere benzemektedir. Her ikisinde de yöne göre yapının sınırlarında anomali maksimum değer almaktadır (Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17).

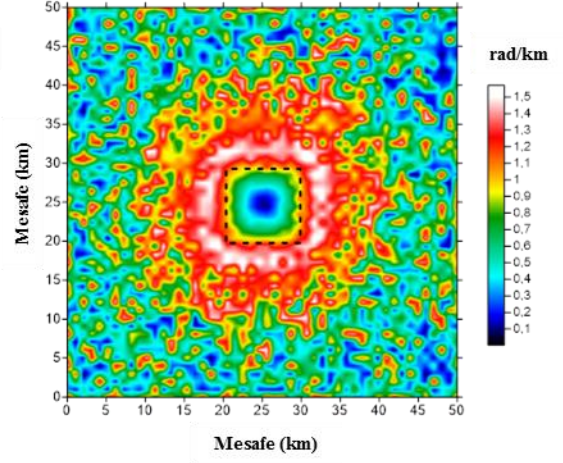


Şekil 3.12 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi, beyaz gaussian gürültüsü eklenmiş hali ve yönlü 2. türev sonuçları.

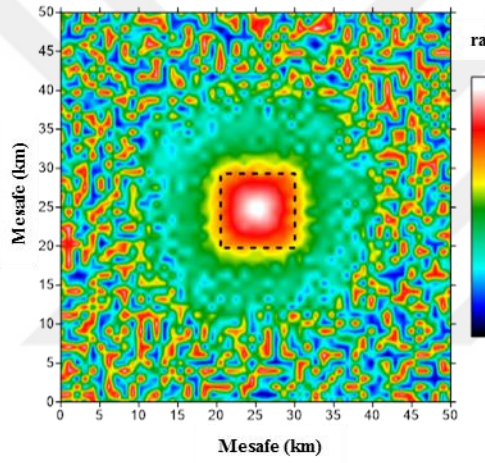
Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü)



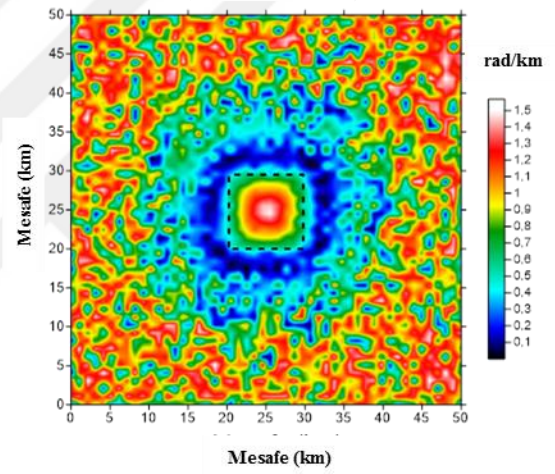
Tilt türevi



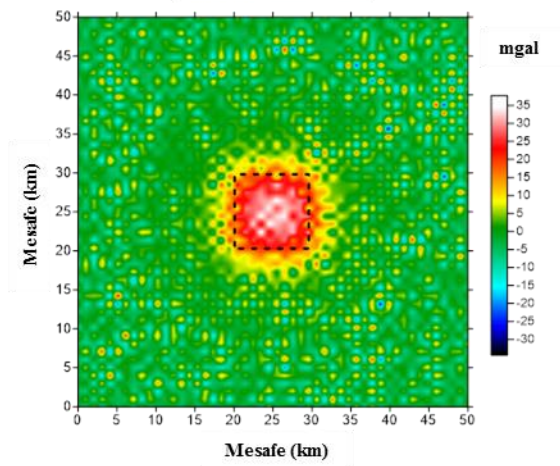
Tilt açısı



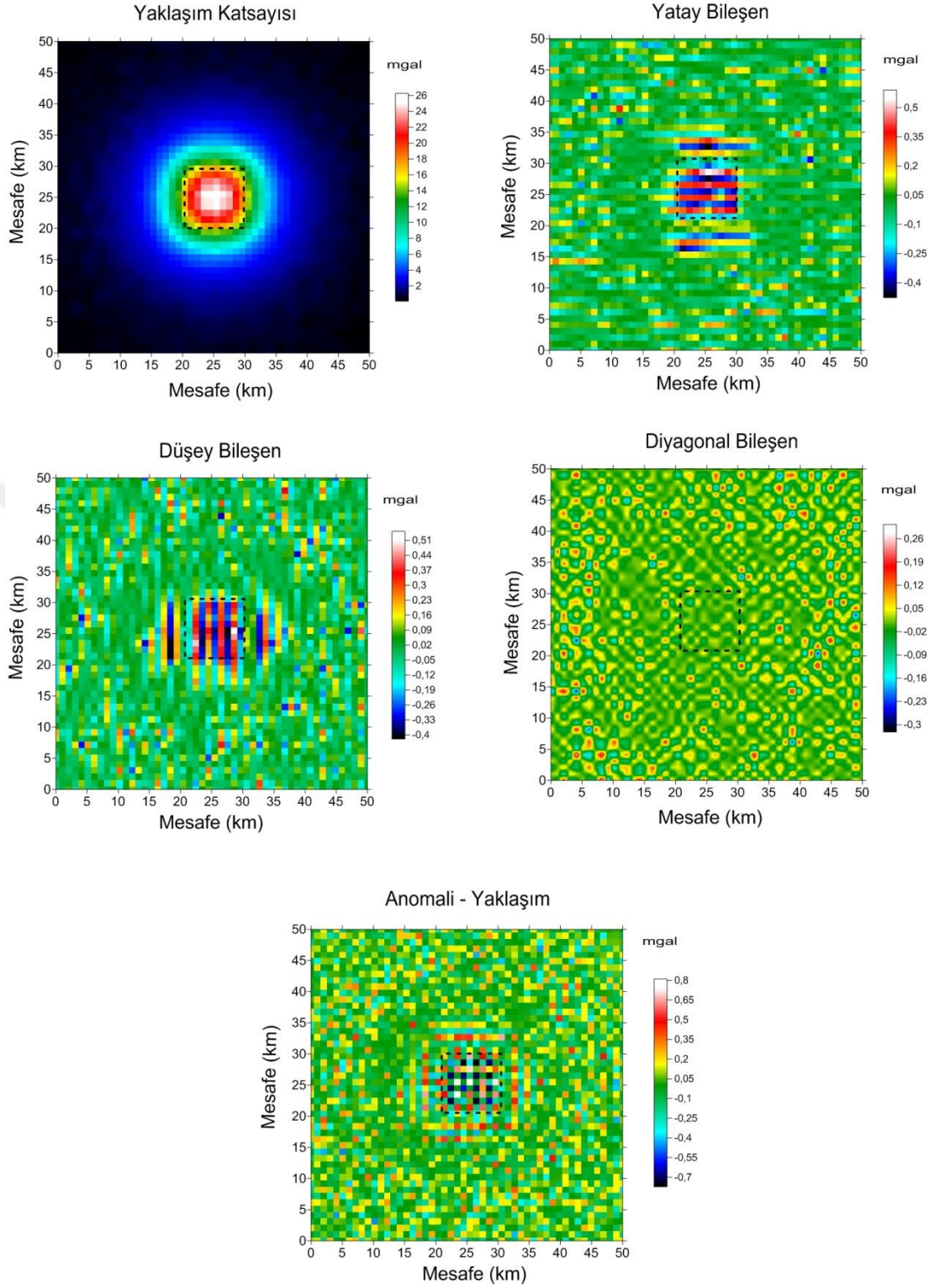
Theta map



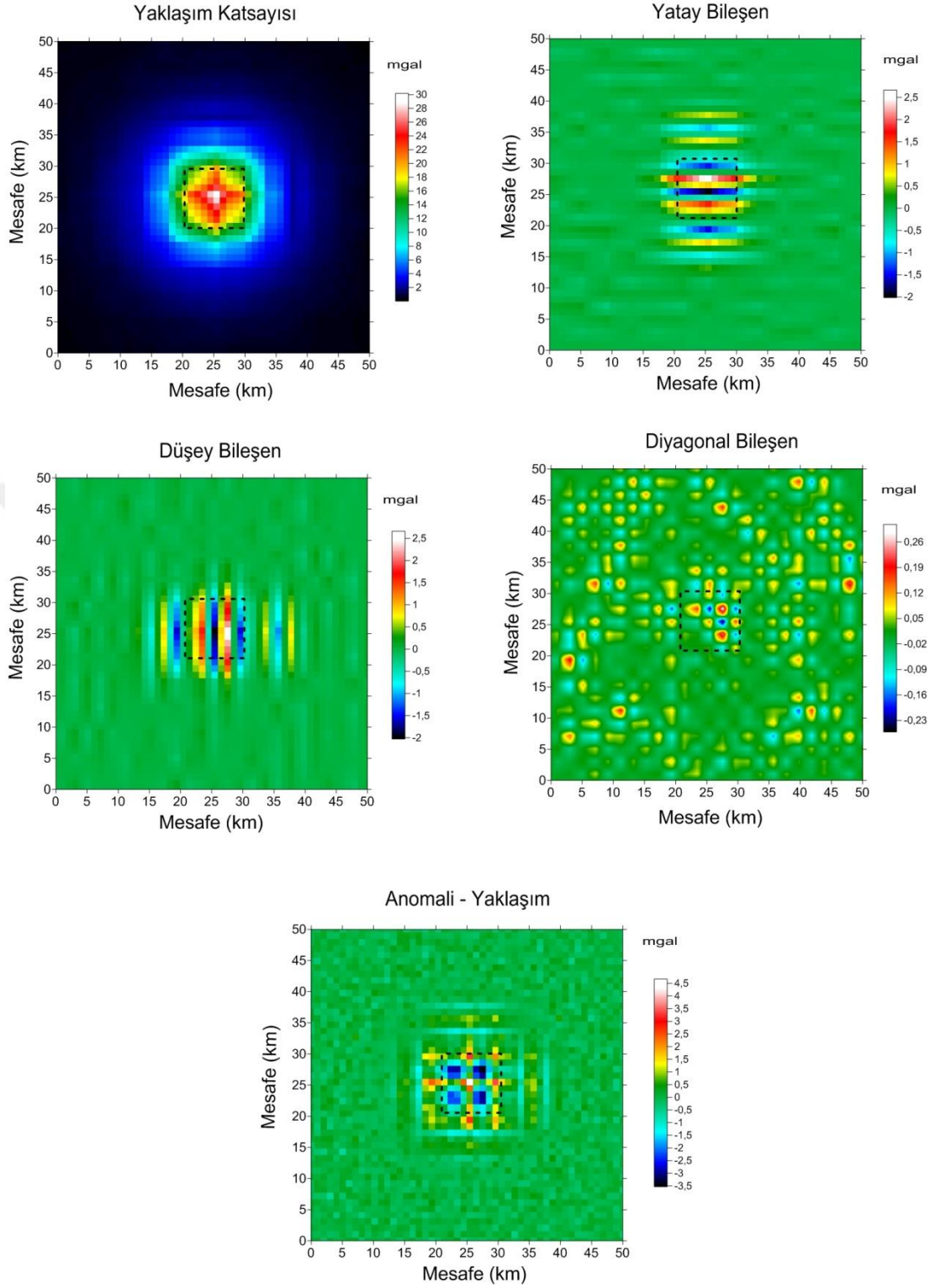
Aşağı uzanım



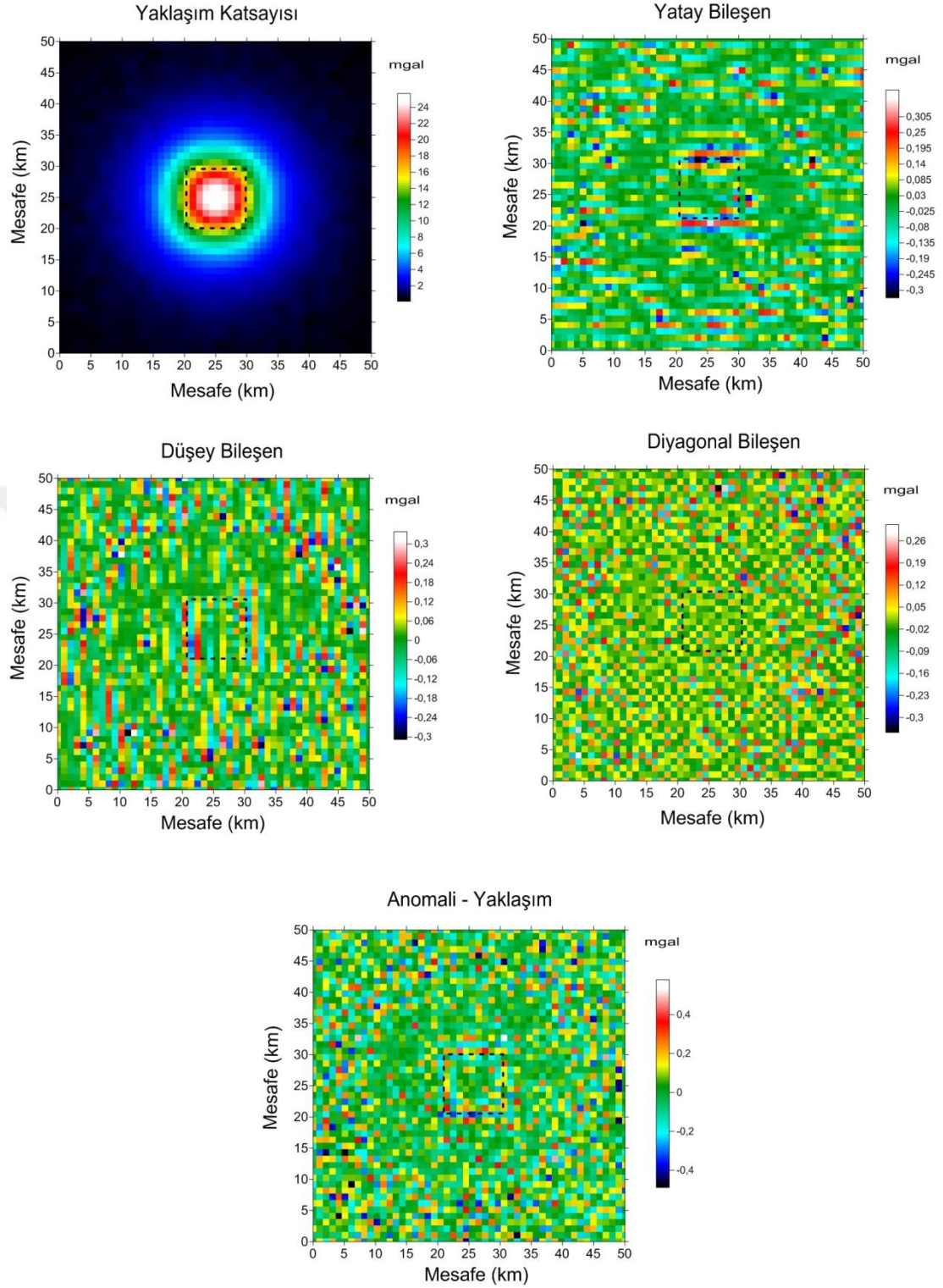
Şekil 3.13 Tek prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



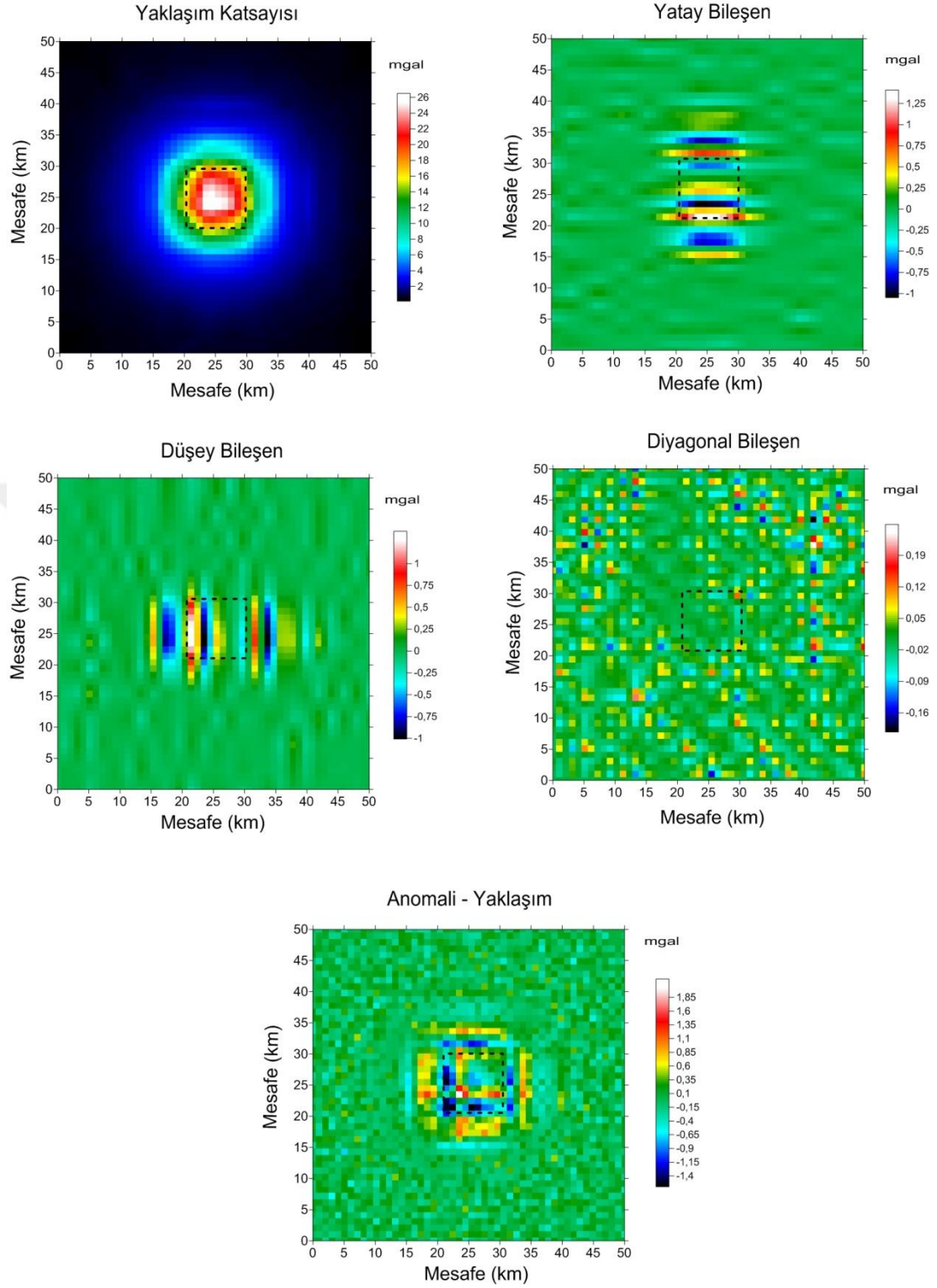
Şekil 3.14 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.15 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).



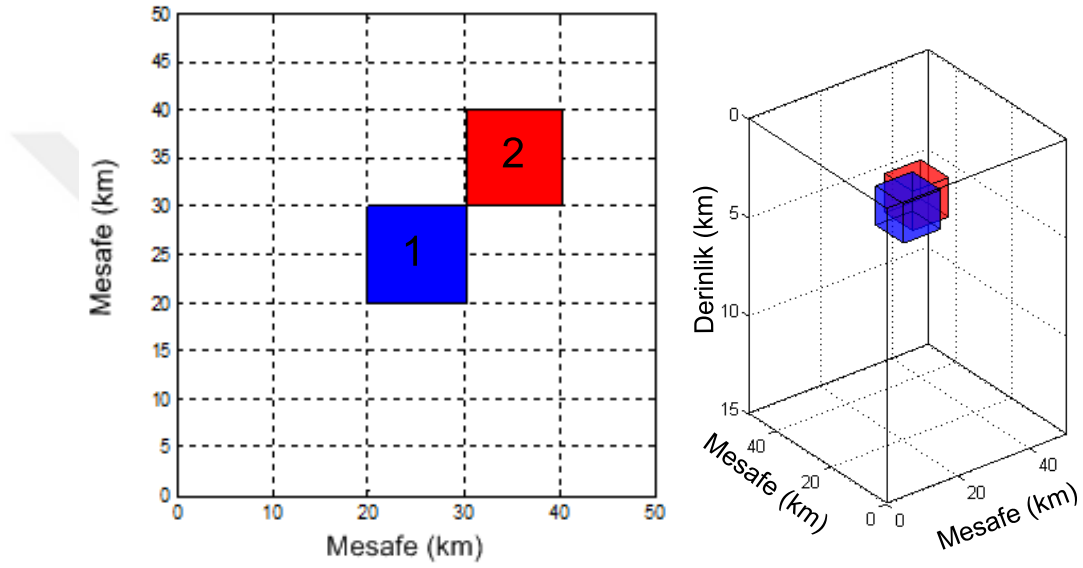
Şekil 3.16 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.17 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).

3.2.3 İki Prizma Örneği

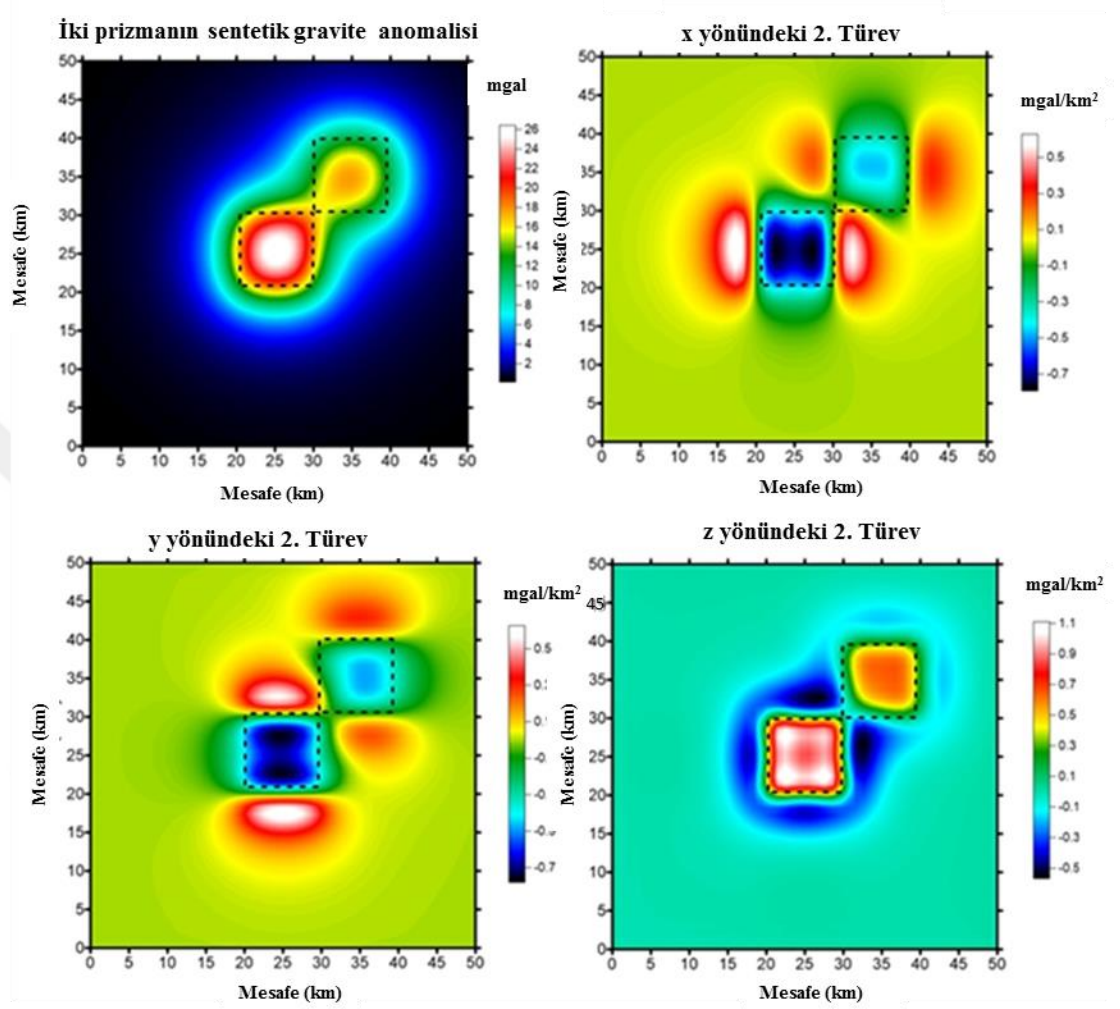
Buradaki modelde x ve y için başlangıç değerleri 0 olmak üzere 50*50 km'lik bir alan seçilmiştir. 1. prizmanın x ve y koordinatları sırasıyla 20 ve 30'dur. Alt derinliği 5, üst derinliği ise 3 ve yoğunluk farkı 0,7 gr/cm³'tür. 2. prizmanın x ve y koordinatları sırasıyla 30 ve 40'tır. Alt derinliği 6, üst derinliği ise 4 ve yoğunluk farkı 0,6 gr/cm³'tür (Şekil 3.18).



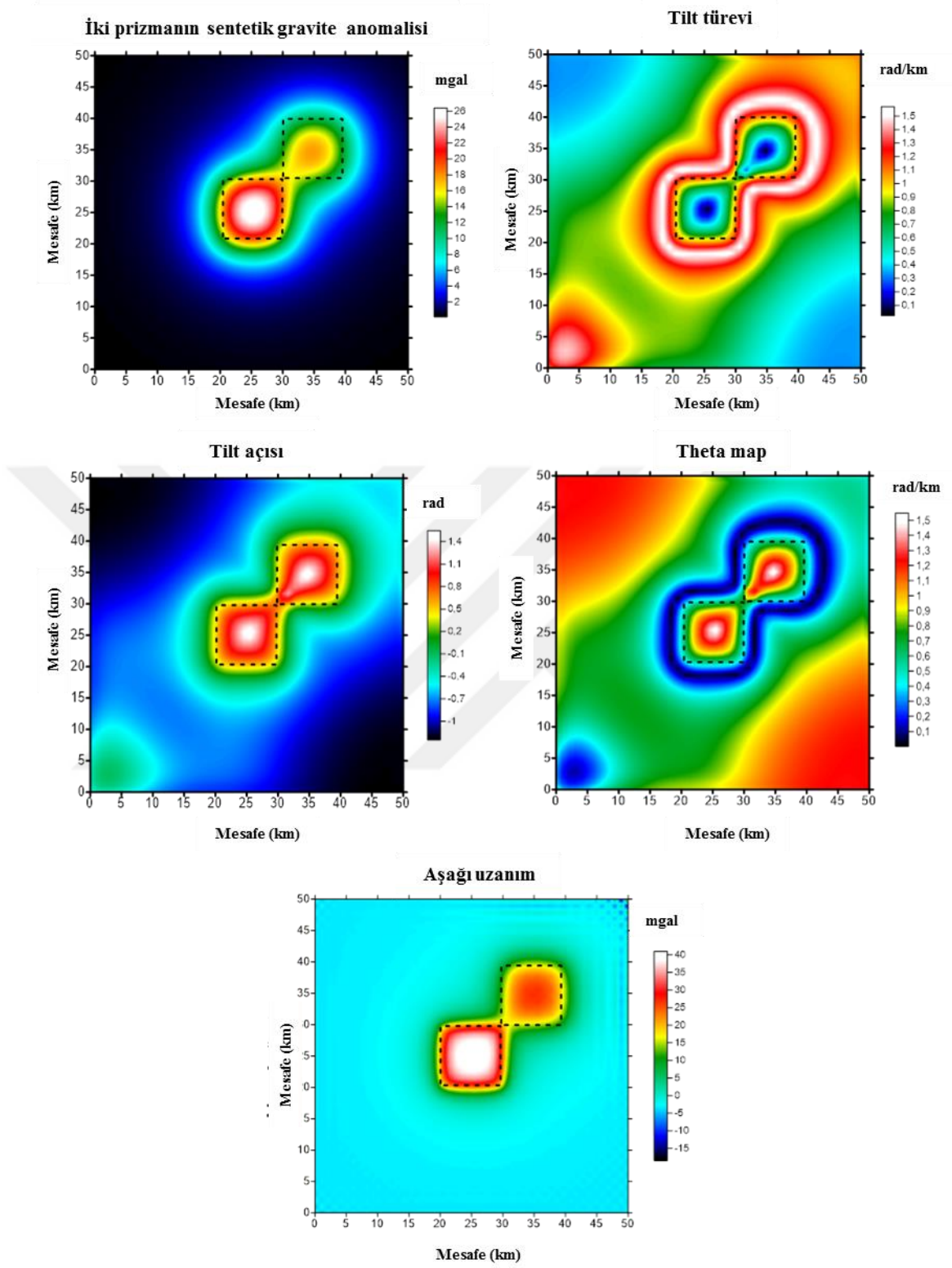
Şekil 3.18 İki prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.

Şekil 3.19'da görüldüğü gibi ikinci türevler yapının sınırlarını belirleyebilmiştir. Sınır analizi yöntemleri de ikinci türevlere benzer şekilde iyi sonuçlar vermiştir. Aşağı uzanımında mesafe (in ground unit) 2,5 birim alınmıştır. İki boyutlu dalgacık dönüşümleri sonuçlarında ise dikkati çeken kısım seviye arttığında yaklaşım katsayılarında uzun dalga boylu yapılar ortaya çıkmakla beraber detay katsayılarındaki yapının sınırları seviyenin arttığında netliğini kaybetmektedir. Bunun nedeni ise dalgacık dönüşümündeki her alt örnekleme sonrası veri sayısının yarıya düşmesinden kaynaklanmaktadır. db2 dalgacığı ile ayrıştırma sonucu birinci seviye çıktılarında anomali yaklaşım farkında yapının yeri ve sınırları hakkında tam bilgi alabilmekte iken ikinci seviye için aynı şeyi söylemek mümkün olmamaktadır. db3 dalgacığı ile ayrıştırma sonucunda ise birinci seviye bileşenler (yatay, düşey ve

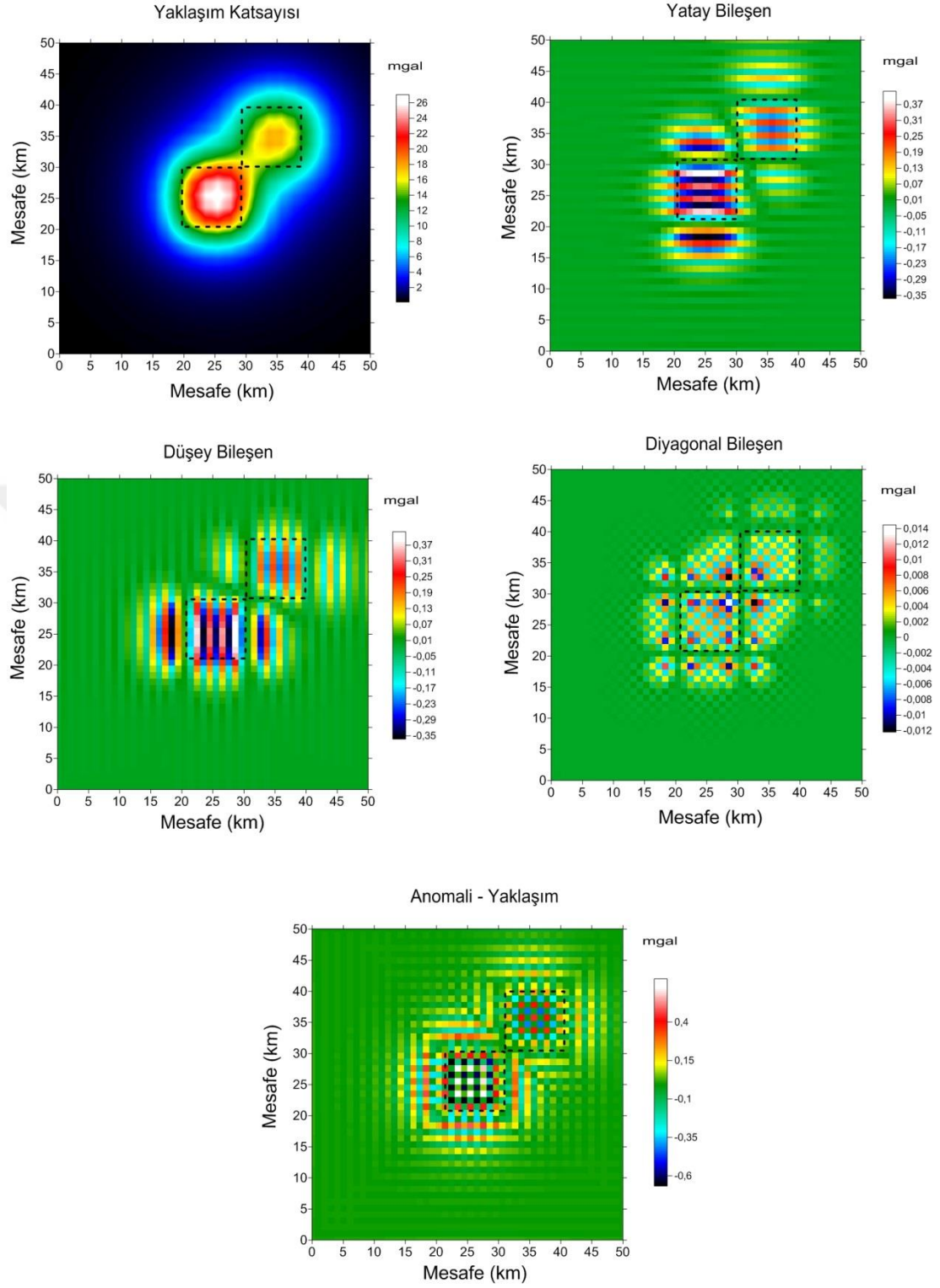
diyagonal) ve anomali yaklaşım farkında yapının sınırları çok net ortaya çıkmıştır (Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24).



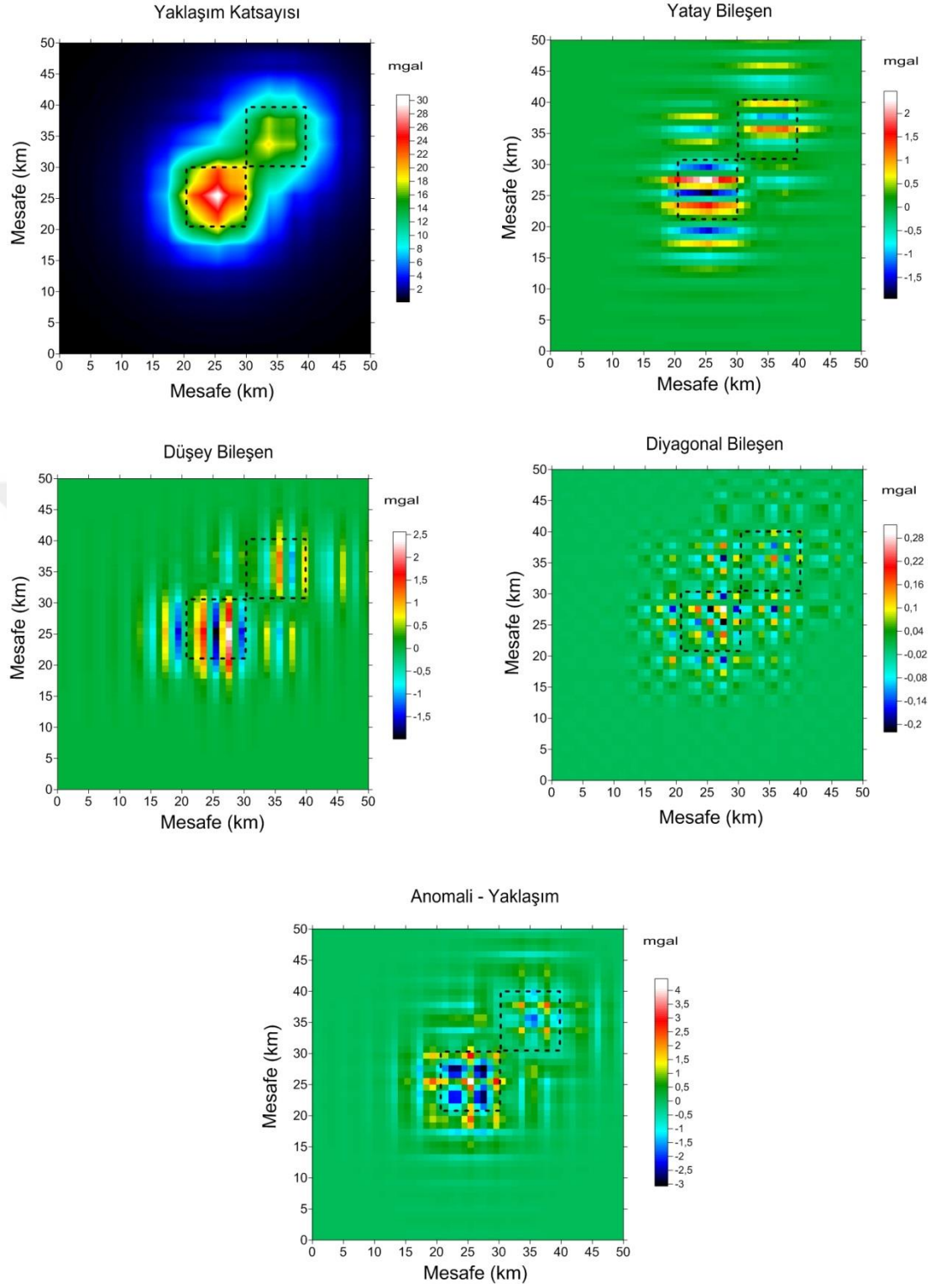
Şekil 3.19 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi ve x, y, z yönlerinde 2. türevleri.



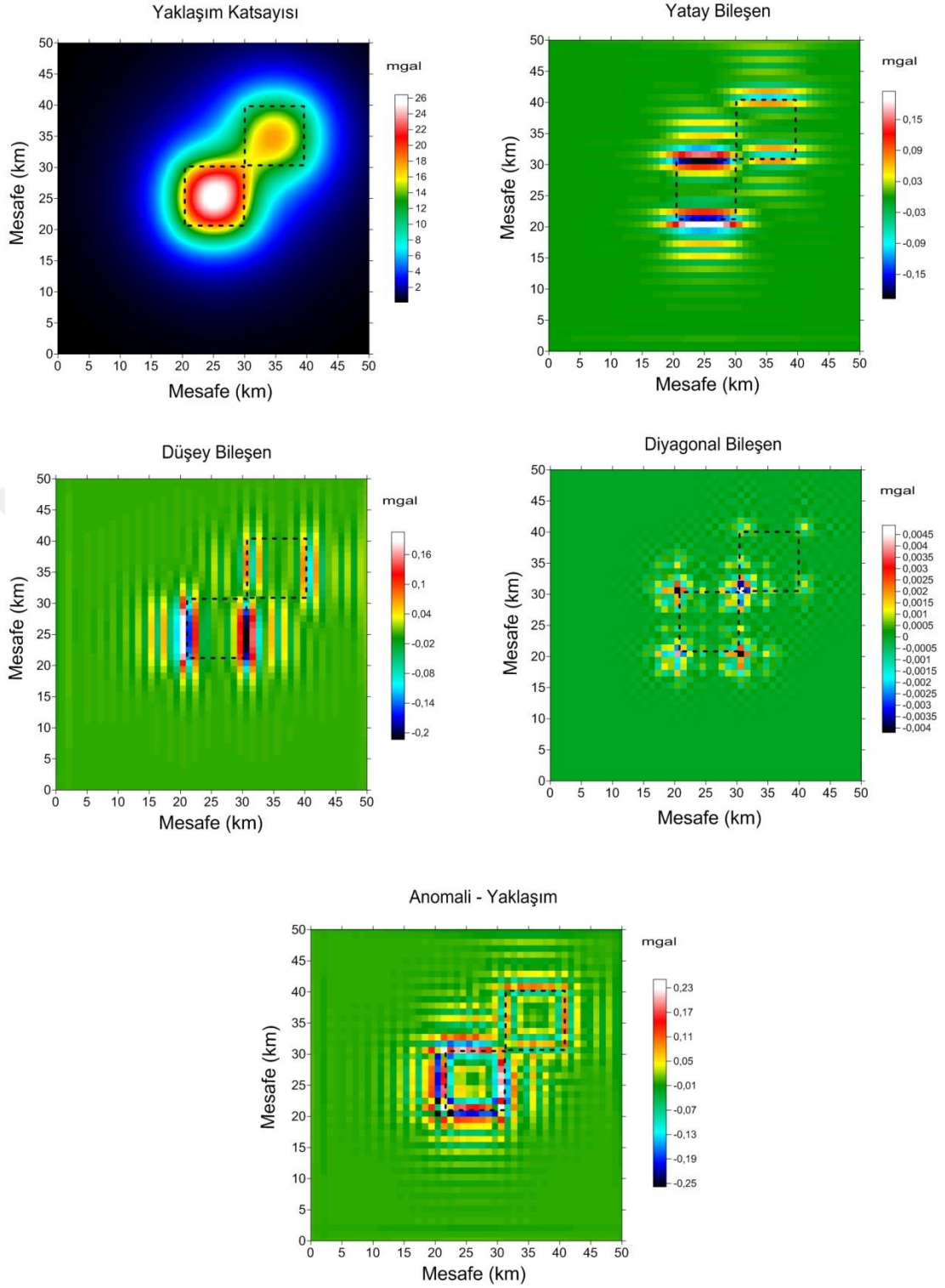
Şekil 3.20 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



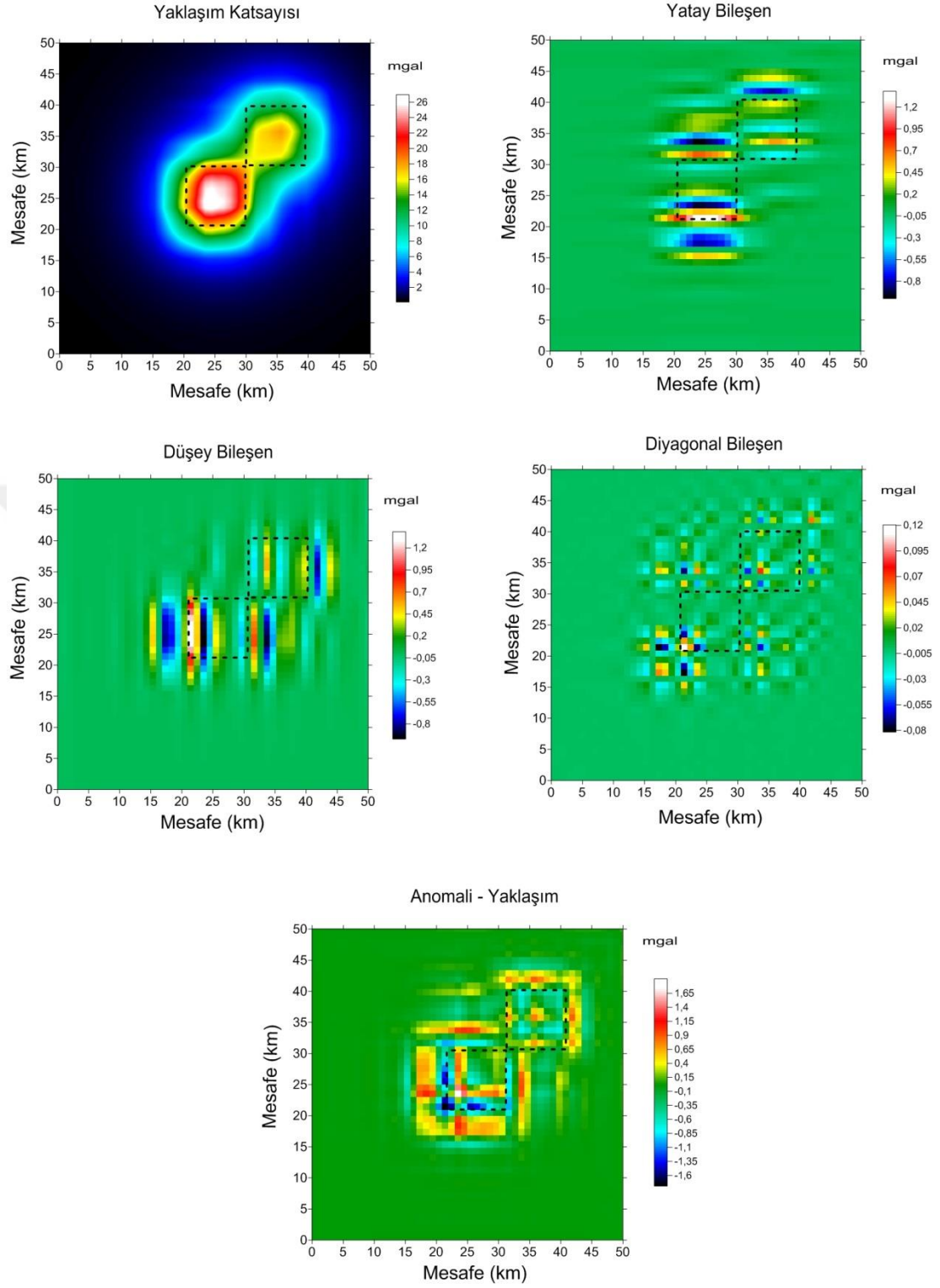
Şekil 3.21 db2 dalgacı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.22 db2 dalgacı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).



Şekil 3.23 db3 dalgacı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).

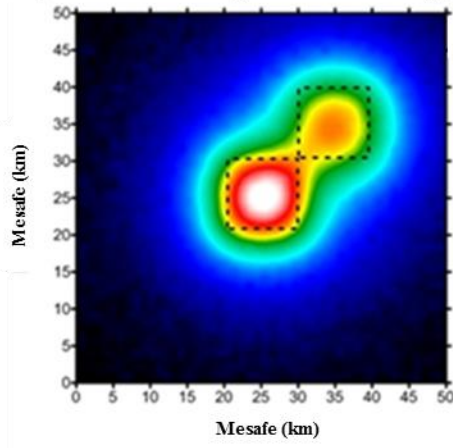


Şekil 3.24 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).

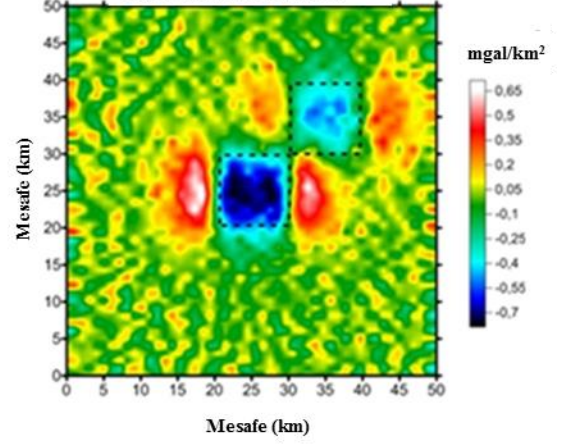
3.2.4 Gürültü Eklenmiş İki Prizma Örneği

Gürültü eklenmemiş verilerin analizi, dönüşüm ve türev sonuçlarından yapının ayrımlılığı sağlanabilmiştir. Bir sonraki aşamada veriye ortalaması 0 ve varyasyonu 0,04 olan beyaz Gaussian gürültüsü eklenerek aynı işlemler uygulanmış ve aralarında karşılaştırma yapılmıştır. Yönlü türevler ve sınır analizi sonuçları gürültü veriler için yeterince iyi denilebilir. Aşağı analitik uzanımda tam olarak yapının sınırları ve şekli belirlenemese de kabullenebilir sonuçlara ulaşılmıştır (Şekil 3.25, Şekil 3.26). Aşağı analitik uzanımda mesafe (in ground units) 1,2 birim alınmıştır. Dalgacık dönüşümü sonuçlarına bakıldığında hem db2 hem de db3 dalgacığı ile yapılan ayrıştırmalarda gürültülü çalışmada diyagonal bileşenlerden yapıyla ilgili bir bilgi edinilememiştir. db2 dalgacığı ile ayrıştırma sonuçları db3 dalgacığına nazaran daha iyi sonuçlar vermiştir. db3 dalgacığı ile ayrışım sonucu 1. seviyede gürültü nedeniyle hiç bilgi edinilemezken 2. seviyede diyagonal dışındaki bileşenler ve anomali yaklaşım farkında yapının sınırları ile ilgili net bilgi olmamakla beraber gürültü azda olsa giderilebilmiştir. db2 dalgacığı ile ayrışım sonuçlarında ise 1. seviyede özellikle anomali yaklaşım farkında birinci prizma belirlenebilirken ikinci prizma çok net değildir. Dalgacık dönüşümü bileşenleri yönlü türevler gibi çalıştığından türevler içerisinden daha öncede yapı sınırlarını belirleme konusunda en iyi sonucu veren z bileşenli 2. türevde de olduğu gibi ikinci prizmanın şekli ve sınırları tam saptanamamıştır. Bunun nedenleri arasında sentetik veri oluşturulurken yapılar arasında yoğunluk farkının farklı verilmesi veya derinlik farkı olabilir. Ayrıca birinci prizma yüzeye daha yakın olduğundan ve dalgacık dönüşümünde bu prizmanın etkisi daha baskın görüldüğünden bir bakıma dalgacık dönüşümü ile ayrıştırma aşağı analitik uzanım etkisini de barındırmaktadır (Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30).

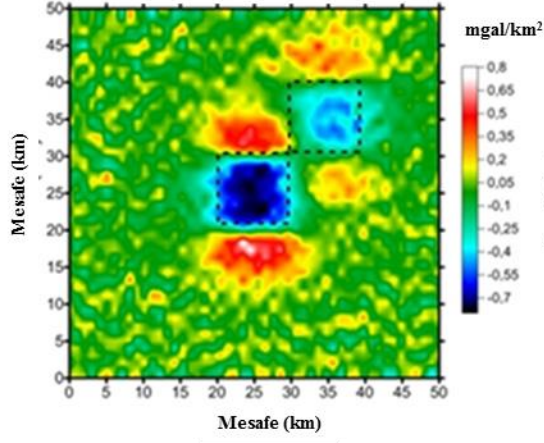
İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü)



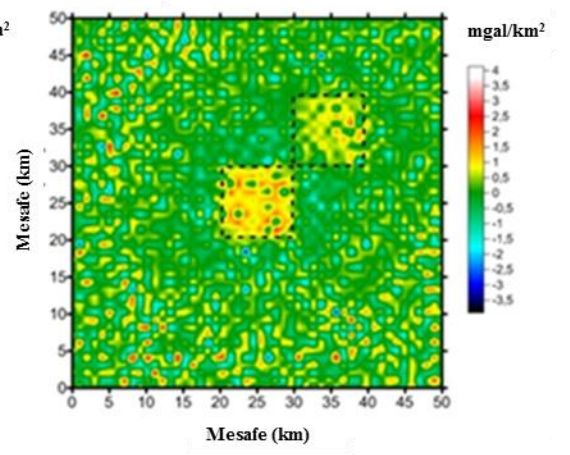
x yönündeki 2. Türev



y yönündeki 2. Türev

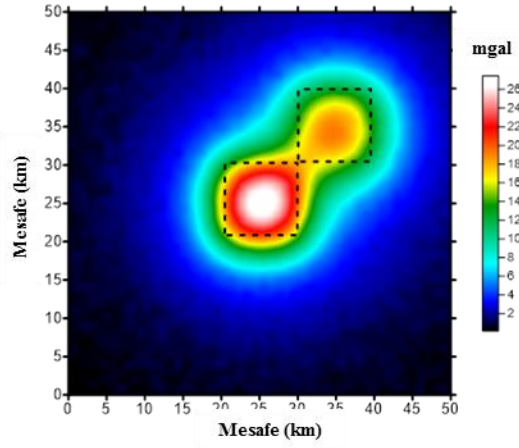


z yönündeki 2. Türev

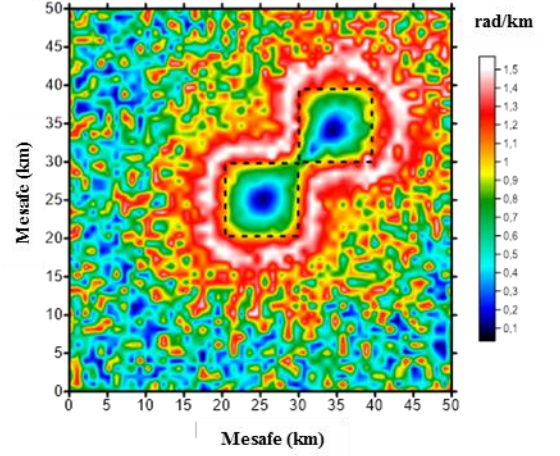


Şekil 3.25 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü) ve yönlü 2. türev sonuçları.

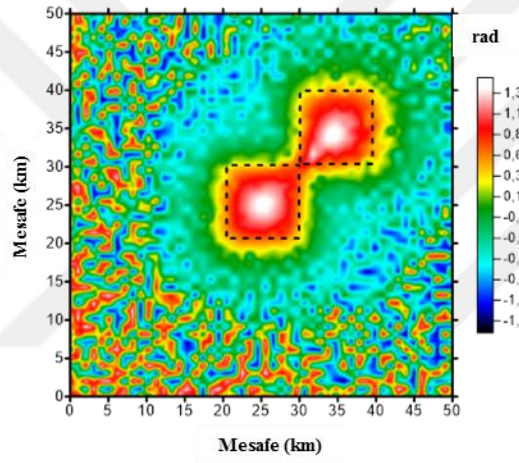
İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü)



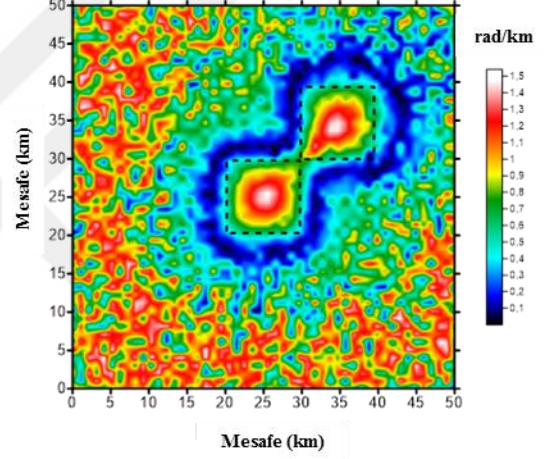
Tilt türevi



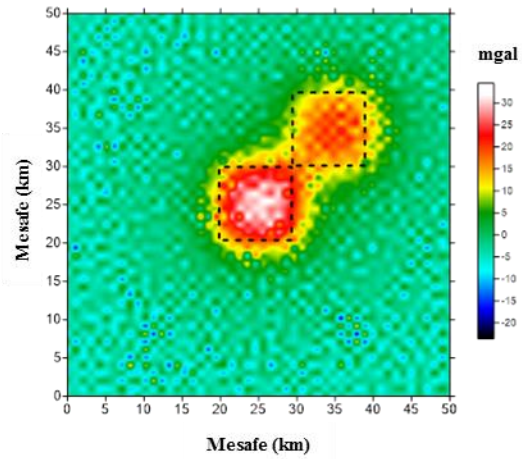
Tilt açısı



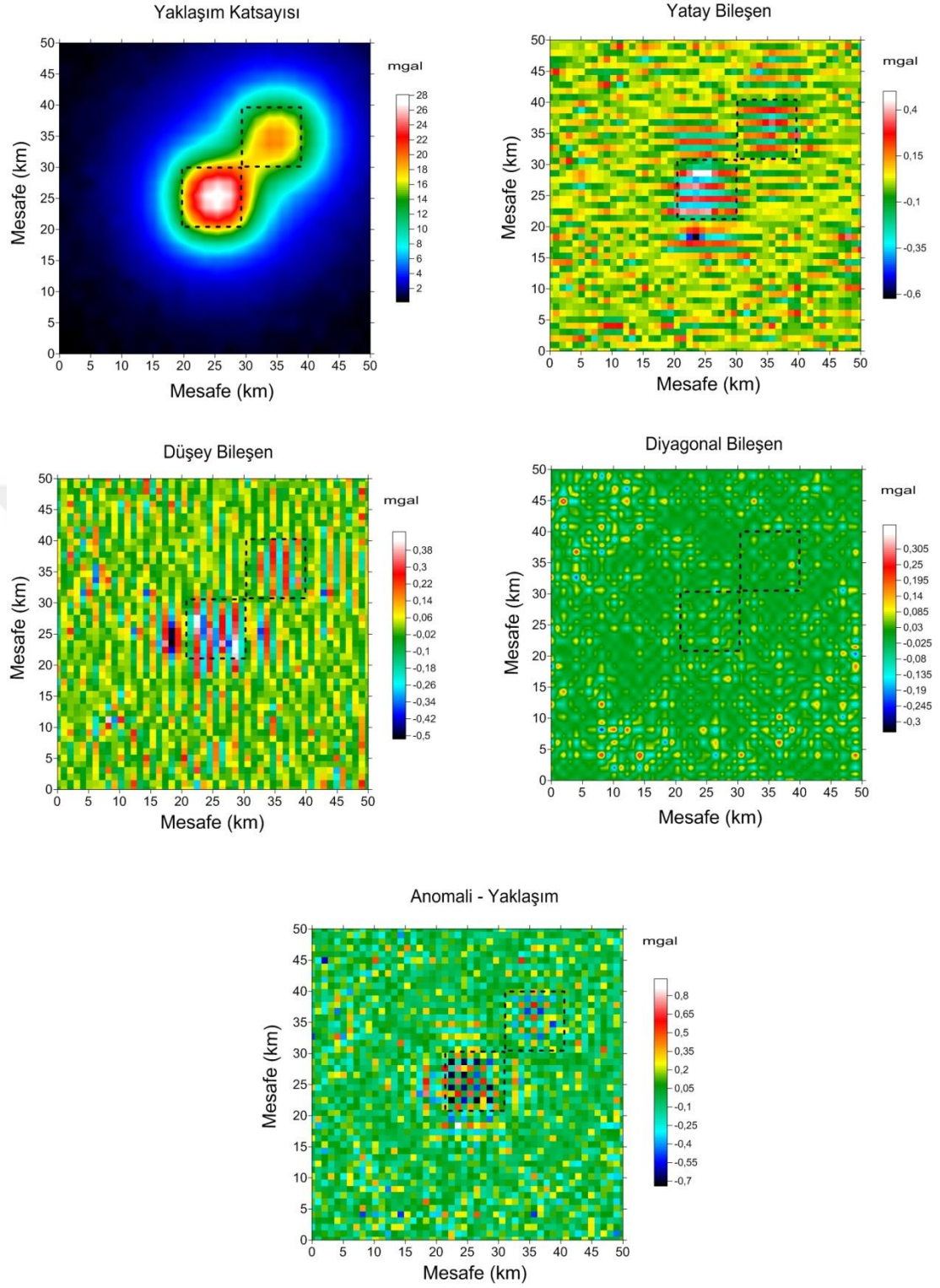
Theta map



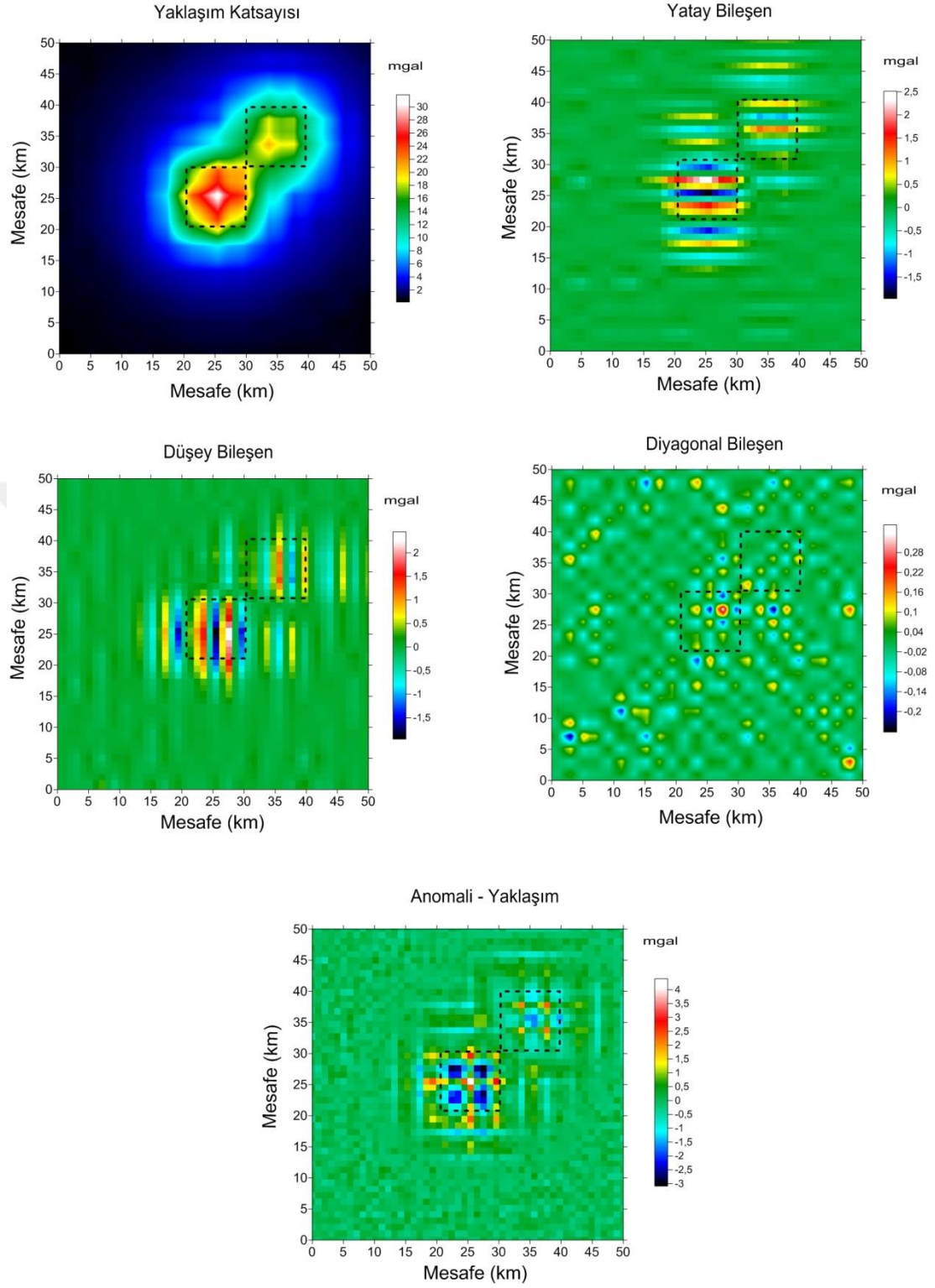
Aşağı uzanım



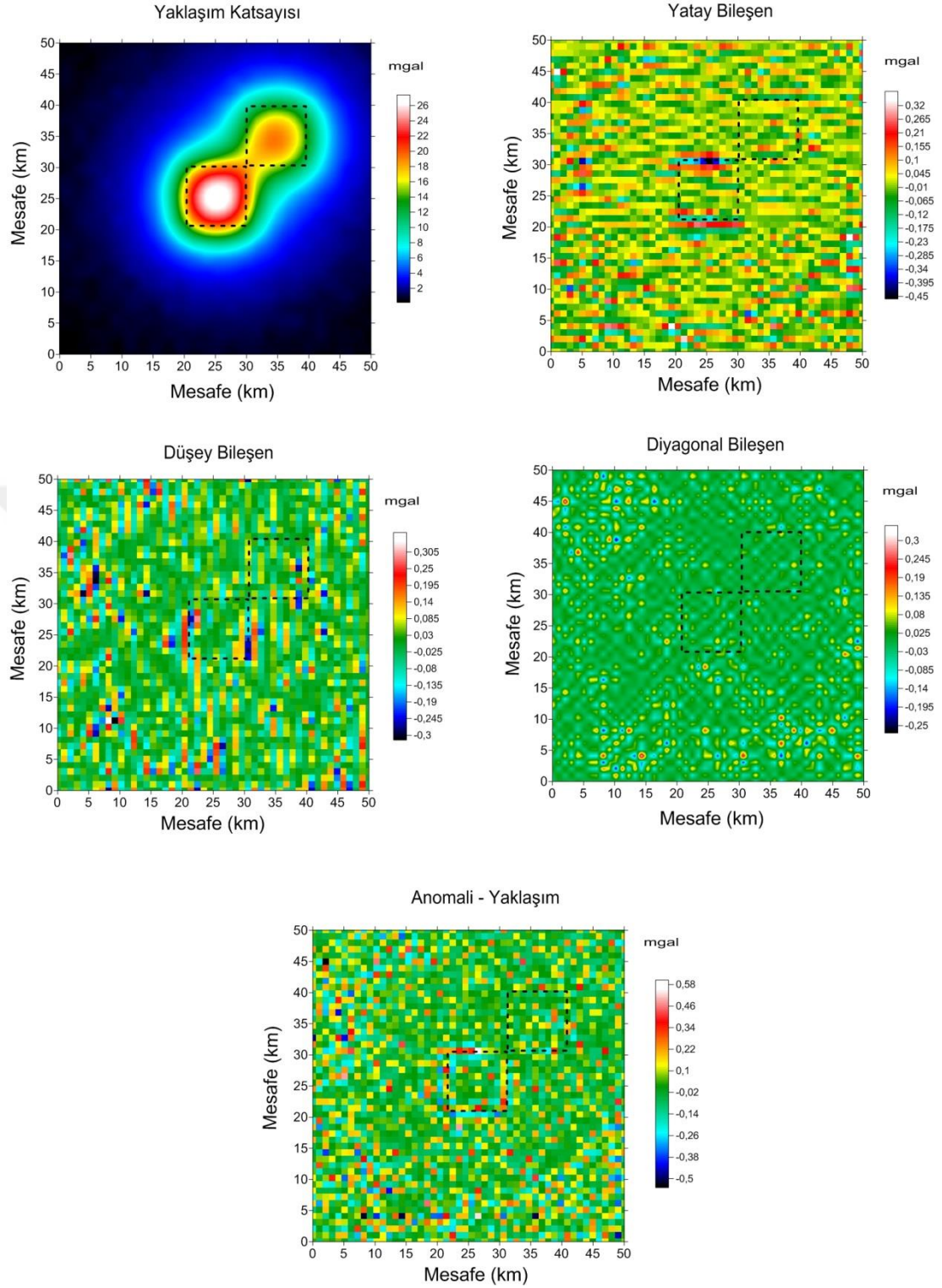
Şekil 3.26 İki prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



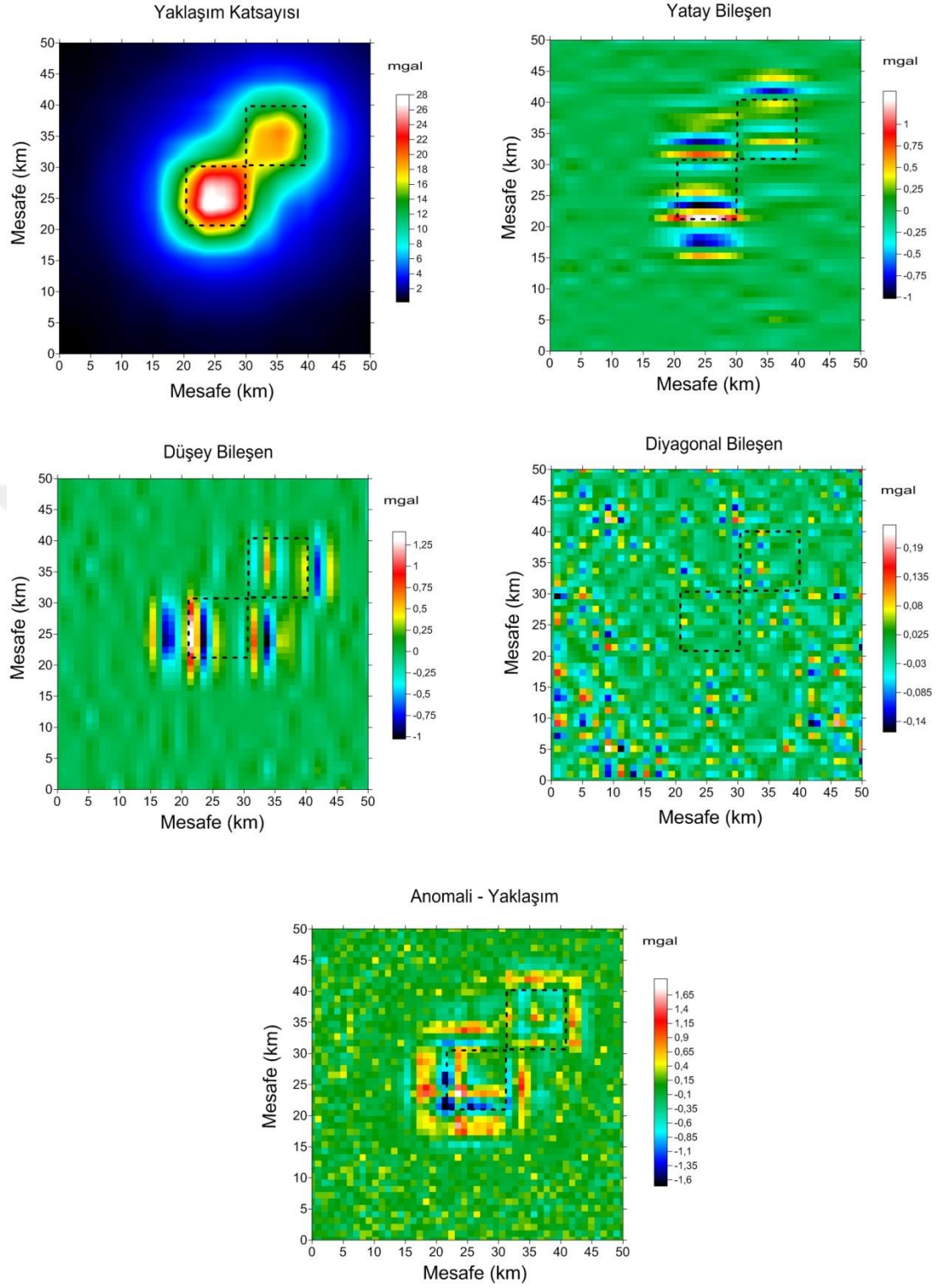
Şekil 3.27 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.28 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).



Şekil 3.29 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).

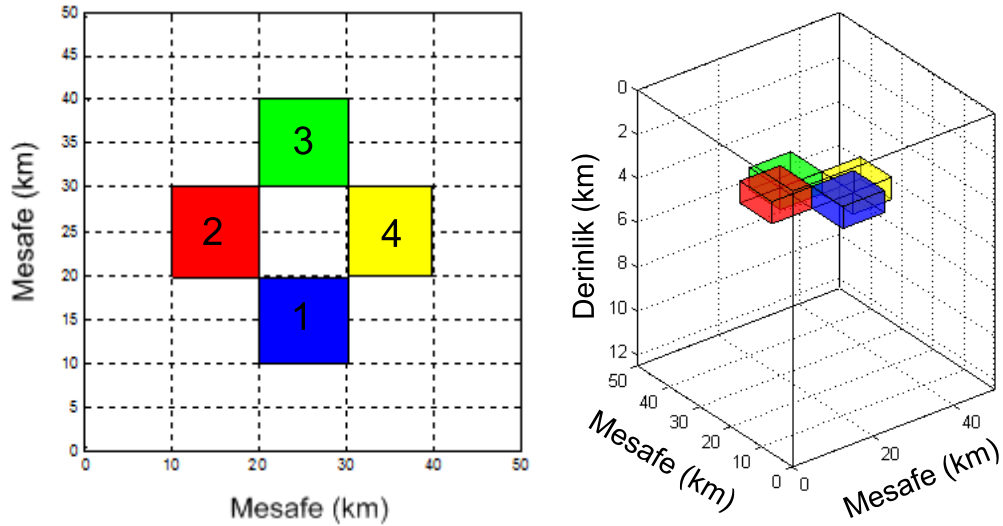


Şekil 3.30 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).

3.2.5 Dört Prizma Örneği

Bu örnekte amaç farklı derinlikteki dört prizmadan elde edilen sentetik gravite anomalisinden yapıların yerlerini ve sınırlarını tespit edebilmektir. Bu amaçla ilk olarak sentetik gravite anomalisine x, y, z yönünde 2. türevler uygulanmıştır. Buna ek olarak aşağı analitik uzanım yöntemi ile sınır analizi yöntemleri de denenmiş bunların hepsi iki boyutlu dalgacık dönüşümü sonuçları ile kıyaslanmıştır.

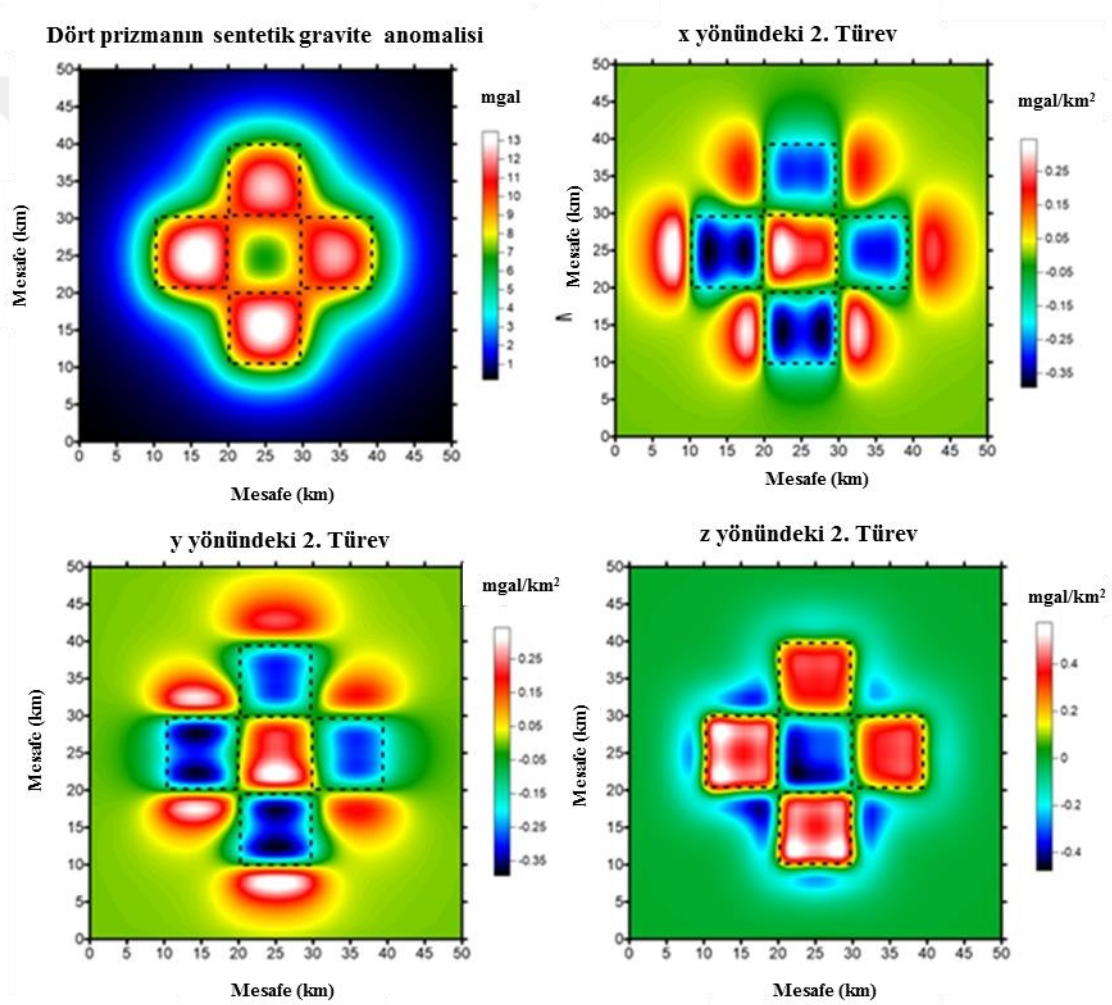
Buradaki modelde bir önceki örneklerde de olduğu gibi 50*50 km'lik alan seçilmiştir. Birinci prizmanın x koordinatları sırası ile 20 ve 30, y koordinatları sırası ile 20 ve 30'dur. Üst derinlik 3 ve alt derinlik 4'dür. İkinci prizmanın x koordinatları ise 10 ve 20, y koordinatları ise 30 ile 40'dır. Alt derinliği 3, üst derinliği 4'dür. Üçüncü prizmanın sırasıyla x koordinatları 20 ile 30, y koordinatları ise 30 ile 40'dır. Alt derinlik 4, üst derinlik 5'tir. Son olarak dördüncü prizmanın x koordinatları sırasıyla 30 ve 40, y koordinatları ise 20 ve 30'dir. Üst derinlik 4 ve alt derinlik 5'tir. Yoğunluk farkları sırasıyla 0,6, 0,6, 0,5 ve 0,5 gr/cm³'tür (Şekil 3.31).



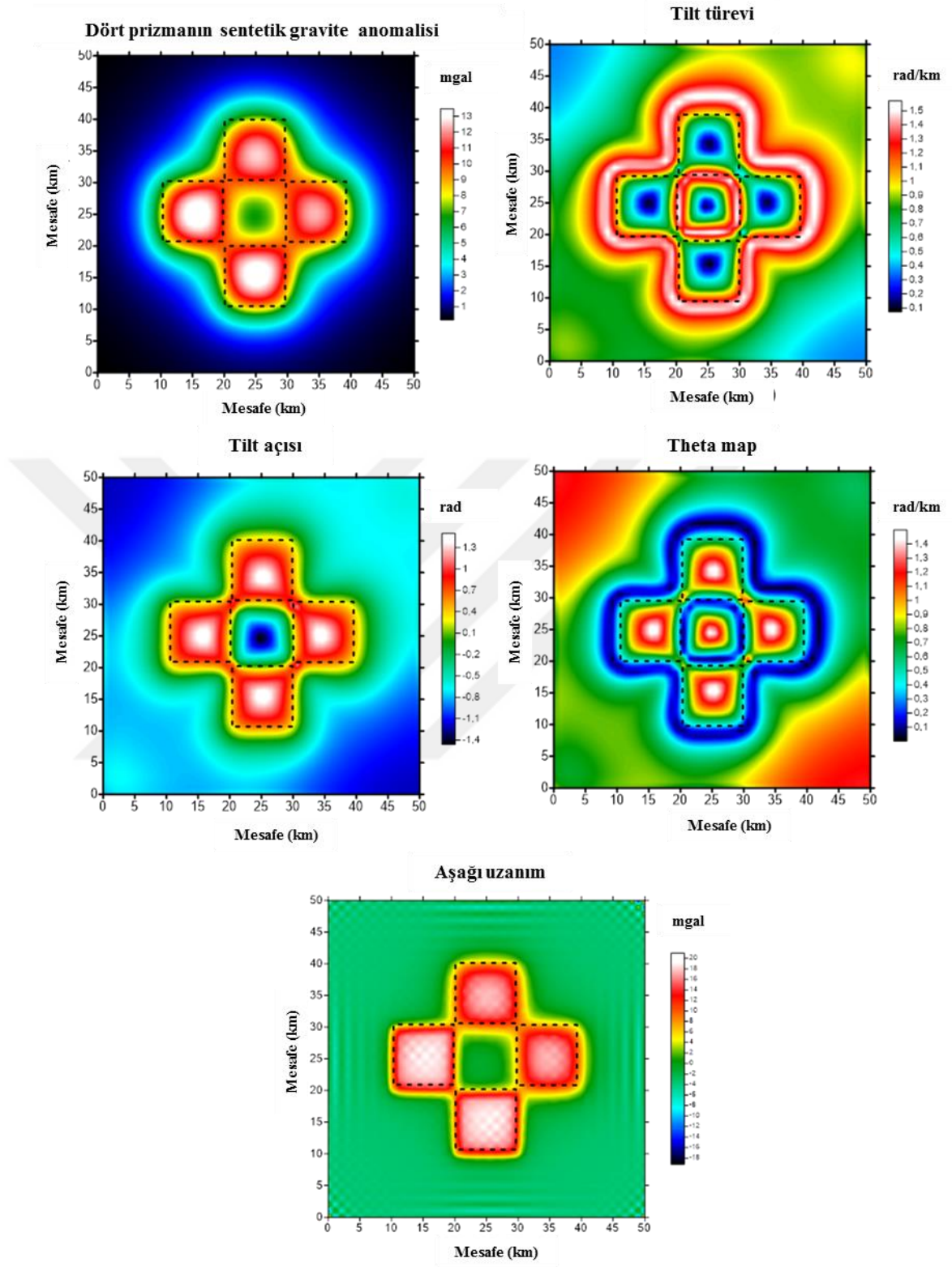
Şekil 3.31 Dört prizmanın 2 ve 3 boyutlu modelleri.

Uygulanan yöntemlerle bu dört yapı ayrımlanmaya ve sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak geleneksel 2. türevler denemiştir (Şekil 3.32). Aşağı analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları yüzeye yakın yapıların sınırlarını

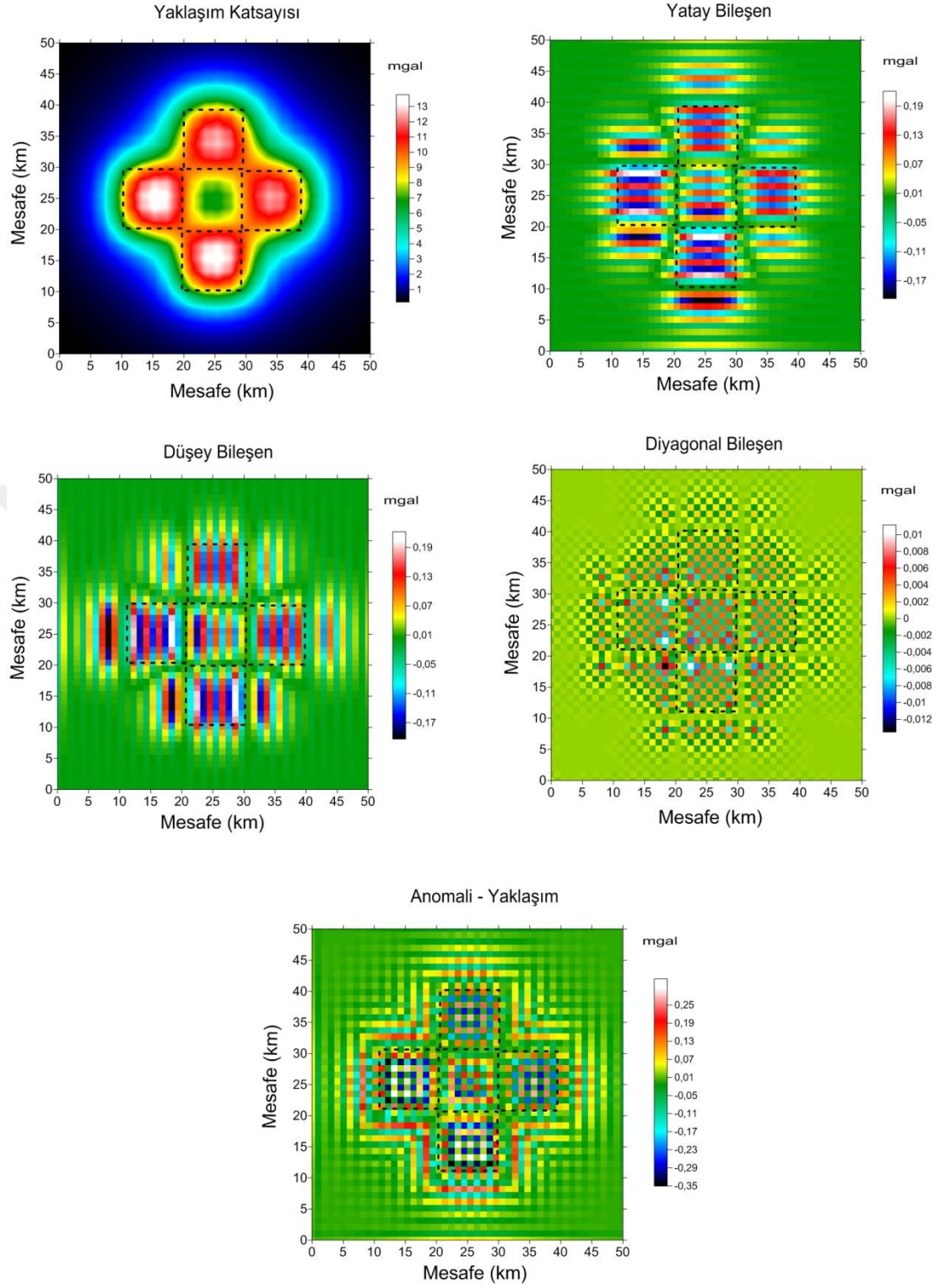
belirleyebilmiş ve ayrırlılığını sağlayabilmiştir. Aşağı analitik uzanımda mesafe (in ground unit) 2,8 birim verilmiştir. Dalgacık dönüşümü sonuçlarına bakıldığında ise db2 ve db3 dalgacıkları ile ayrıştırmada ilk seviyelerin daha başarılı olduğu açıktır. Özellikle db3’de tüm bileşenler olması gerektiği gibi prizmaların düşeyde düşey, yatayda yatay ve diyagonalde diyagonal bileşenlerini tam doğru yeri ile vermiş olup bu yüzden anomali yaklaşım farkında da yapı tamamen ortaya çıkmıştır. Ancak db2’nin ve db3’ün ikinci seviyelerinde yapının şekli ve yeri tam olarak belirlenememiştir (Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37).



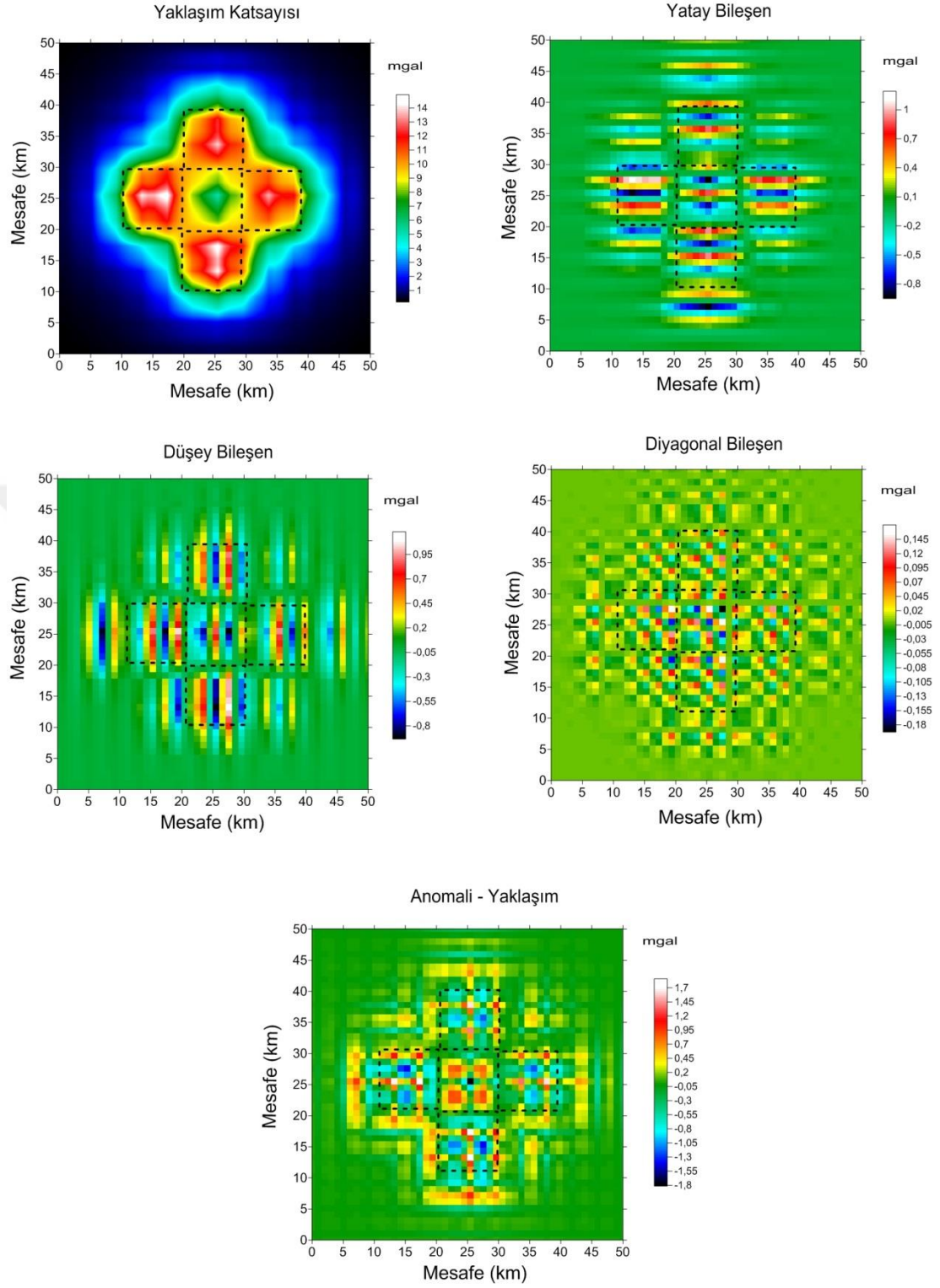
Şekil 3.32 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi ve yönlü 2. türev sonuçları.



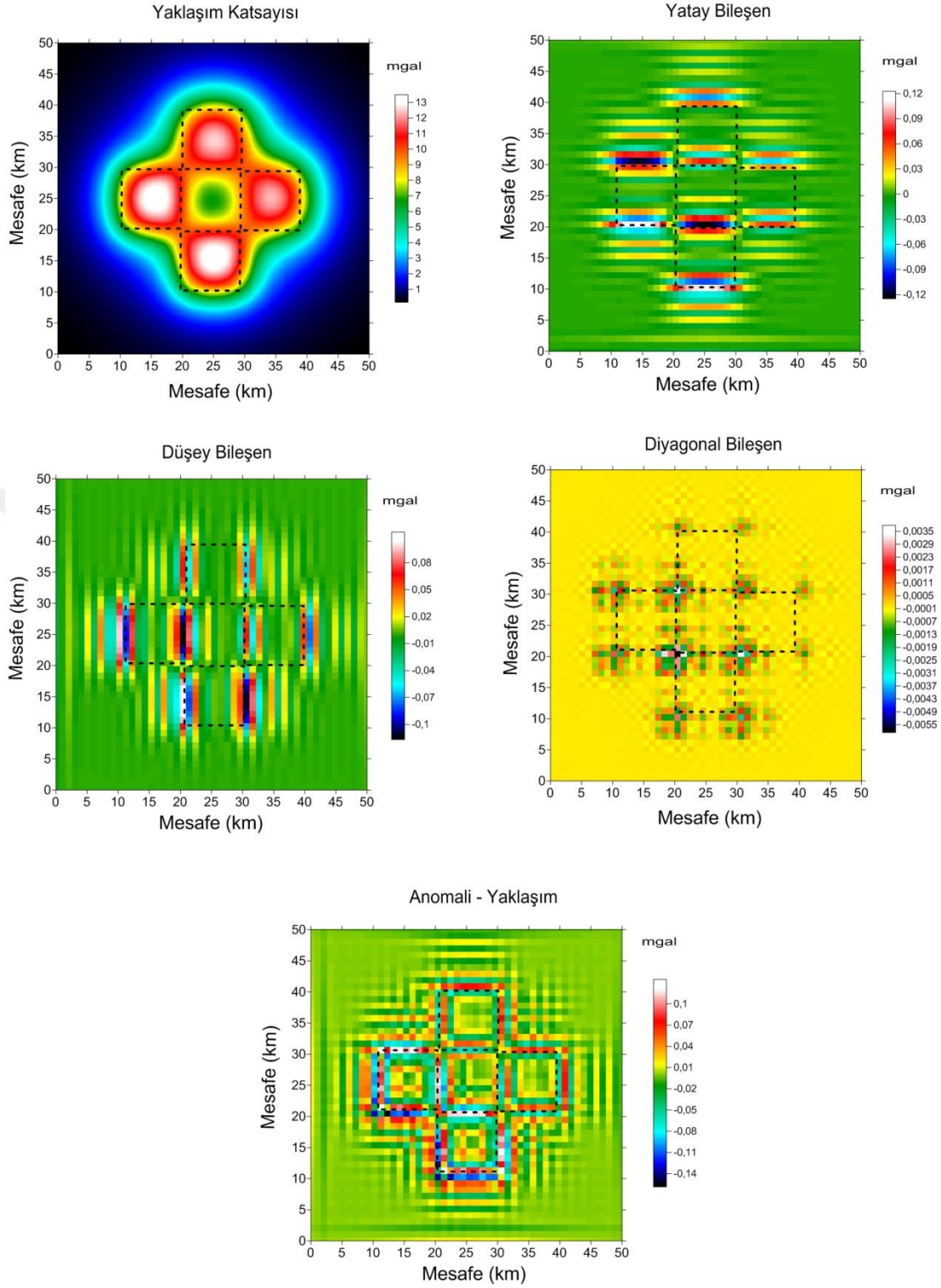
Şekil 3.33 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi, analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



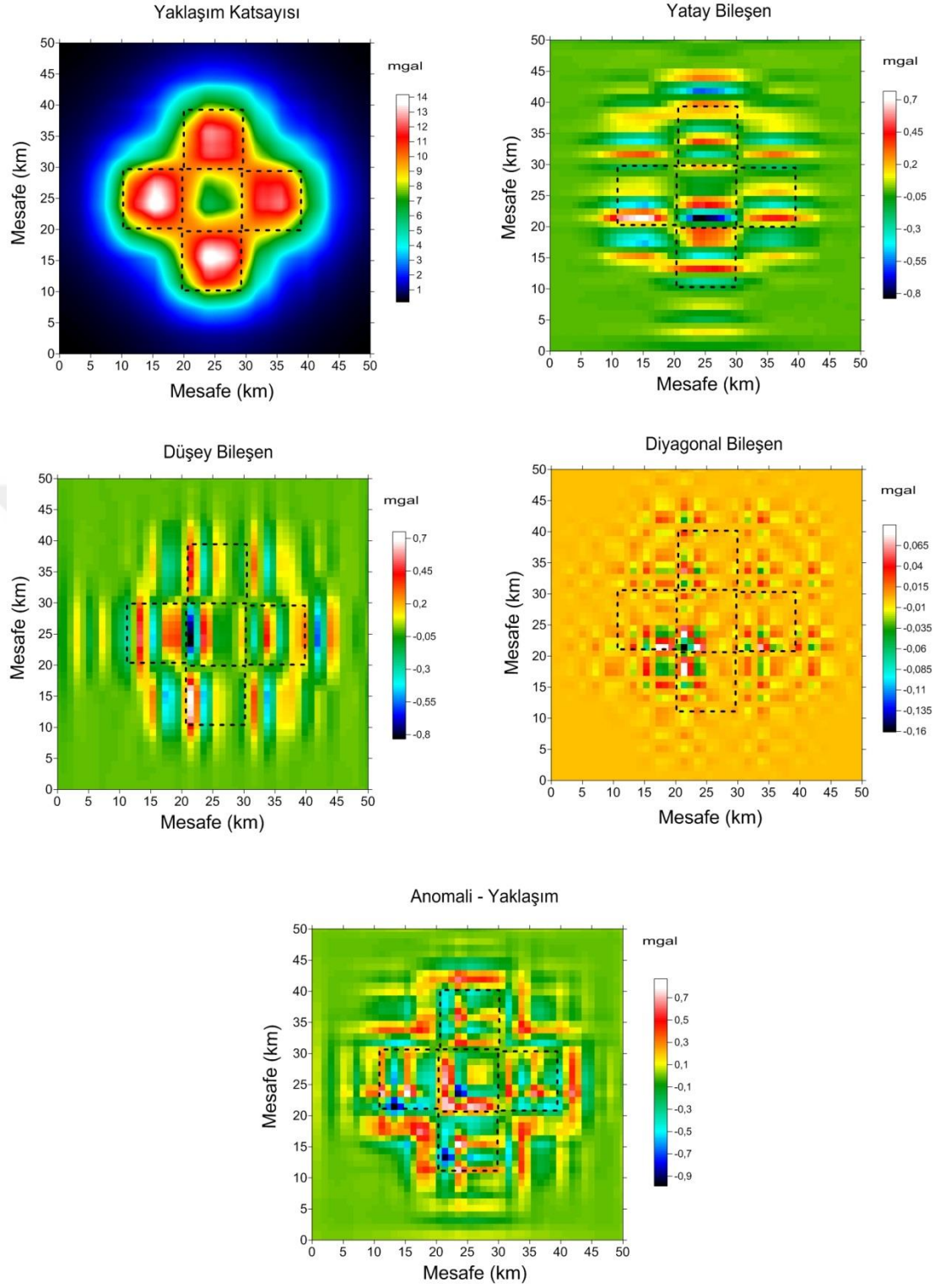
Şekil 3.34 db2 dalgacı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



Şekil 3.35 db2 dalgacı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).



Şekil 3.36 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (1. seviye).



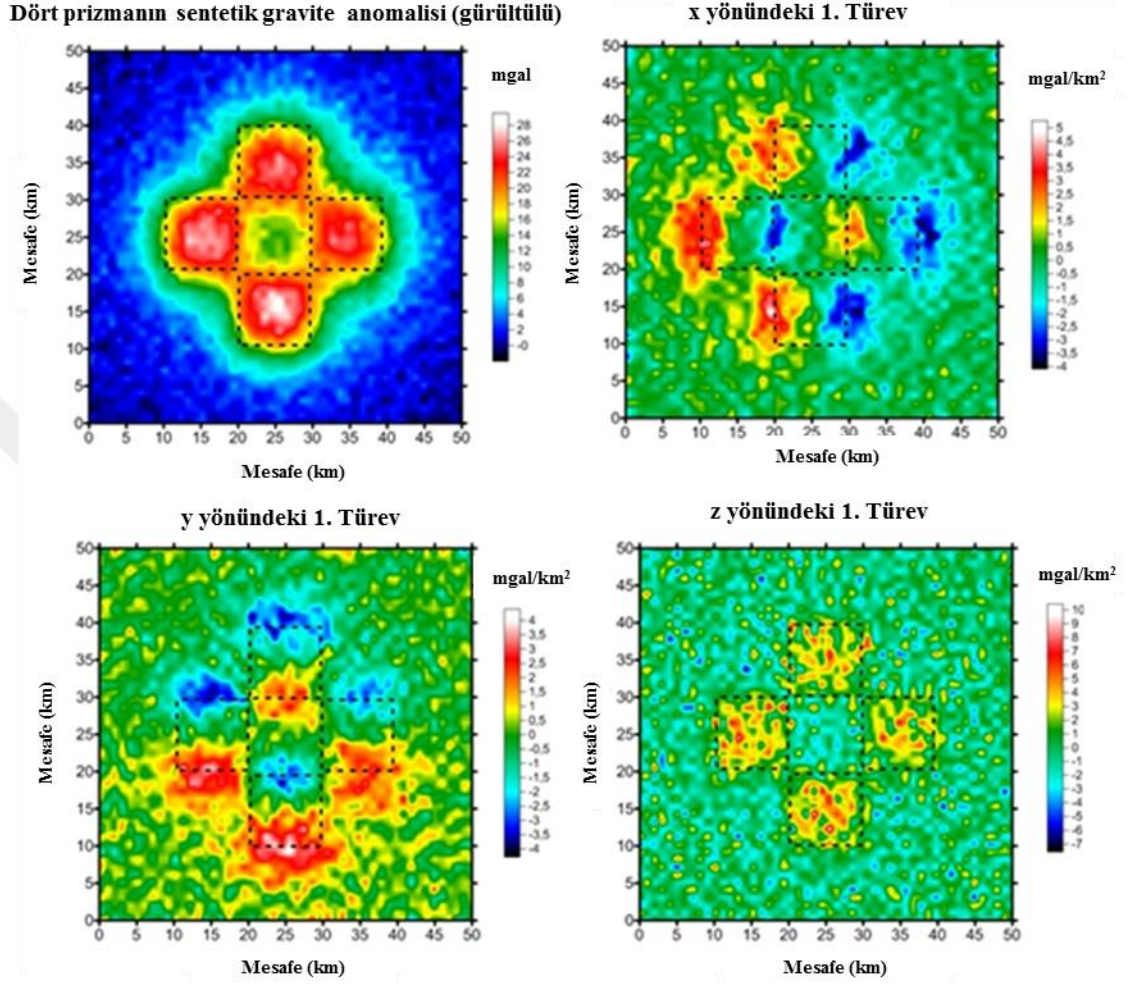
Şekil 3.37 db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (2. seviye).

3.2.6 Gürültü Eklenmiş Dört Prizma Örneği

Bu bölümde bir önceki dört yatay prizma modeli kullanılarak elde edilen sentetik gravite anomalisine ortalaması 0 ve varyansı 0,04 olan beyaz Gaussian gürültüsü eklenmiş ve daha sonra yönlü türevler, analitik uzanımlar, analiz yöntemleri ve dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Gürültülü anomalilerde geleneksel yöntemlerin sonuçları gürültüsüz modellere göre nasıl değiştiği, buna ek olarak dalgacık dönüşümünün gürültülü örneklerde nasıl sonuçlar ürettiğine değinildi.

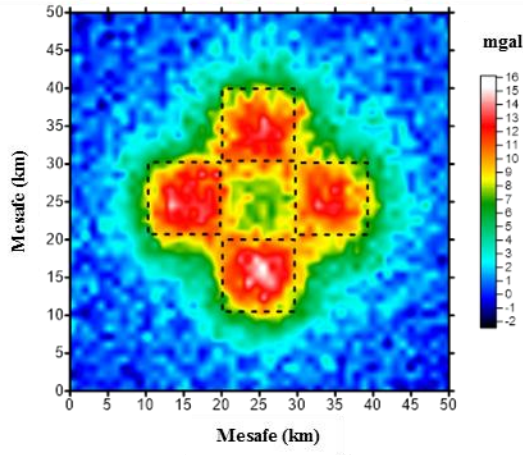
Bu örnekte yönlü ikinci türevlerde veride ayırt edecek herhangi bir şey kalmadığından dolayı birinci türevler alınmıştır. Önceki örneklere kıyasla yapılar arttığında yani ortam karmaşıklaştığında türevler yapının sınırlarını ve lokasyonunu belirlemekte zorlanmaktadır. Bir ve iki prizma durumlarında iyi sonuçlar verirken dört prizmalı gürültülü örnekte dalgacık dönüşümü de diğer geleneksel yöntemler gibi çok da iyi sonuç vermemiştir. Yapının farklı derinliklerde ve yoğunluklarda olması karmaşıklığın artmasına neden olmuştur. Gürültüsüz örneklerde ve önceki örneklerde olduğu gibi x ve y yönündeki türevler yapının sınırlarında maksimum değerleri içinde ise minimum değerleri alması gerekirken yapının iki kenarında minimum ve maksimum değerler göstermiştir. z yönündeki türevde yapının iç kısmında maksimum değerler var ancak tam olarak sınırları belirlenememiştir (Şekil 3.38). Tilt türevi yapıların sınırlarında maksimum, theta map ise minimum ve tilt açısı yapının içinde maksimum değerleri vermiştir. Ancak şekil 3.39'da da görüldüğü üzere tilt açısında yapının sınırları ve şekli tam olarak belirlenebilmiştir. Aşağı analitik uzanımın sonucu da tilt türevine benzer çıkmıştır. Aşağı analitik uzanımda mesafe (in ground distance) 0,6 birim verilmiştir. Dalgacık dönüşümünde bu örnekte ilk üç seviyede gürültü giderilememiş olduğundan yapıyla ilgili bir bilgi sağlanamamıştır. Bu yüzden db2 ve db3 dalgacıkları ile dört ve beş seviye ayrıştırma yapılmış ve dördüncü ile beşinci seviyelerin anomali yaklaşım farklarında yapıyla ilgili bilgi edinilirken, detay bileşenlerinde rejyonel anomaliye benzer anomaliler elde edilmiştir. Ancak dördüncü seviyenin diyagonal bileşeninde dört farklı yapı ile ilgili bilgi edinilebilirken yapının şekli ve tam olarak yeri kestirilememiştir. Yapı

karmaşıktıkça dalgacık dönüşümü de yapının lokasyonu ve sınırlarını saptamakta zorlanmaktadır (Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42).

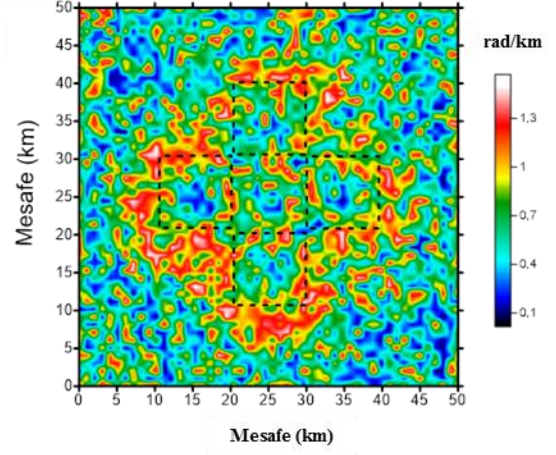


Şekil 3.38 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü) ve yönlü 1. türev sonuçları.

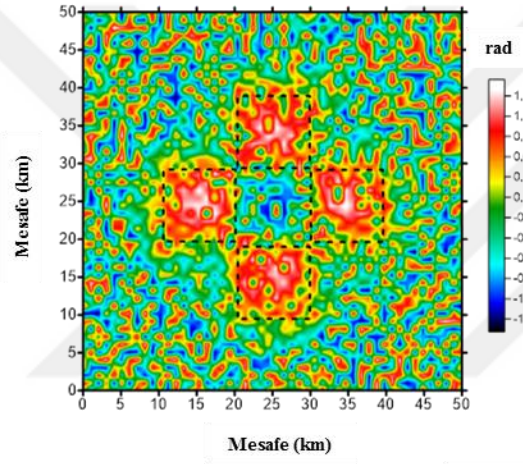
Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü)



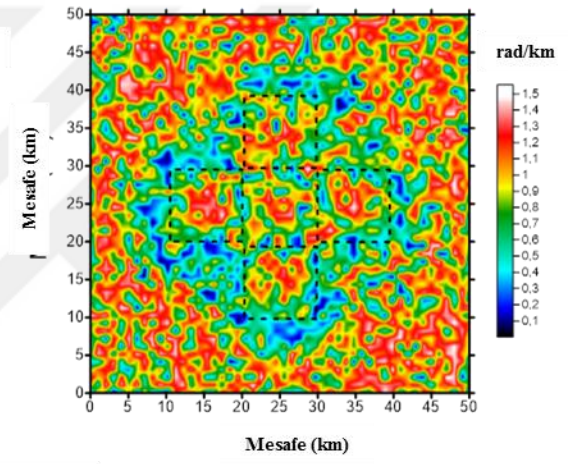
Tilt türevi



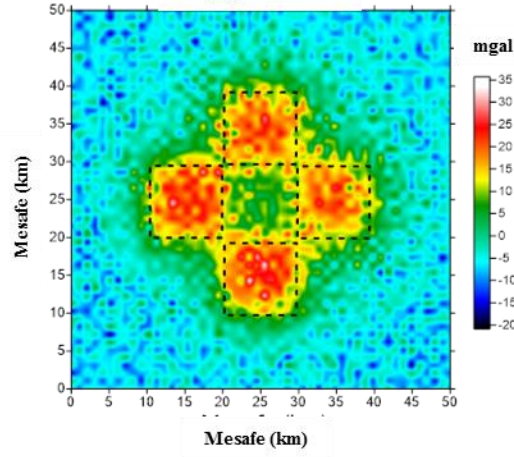
Tilt açısı



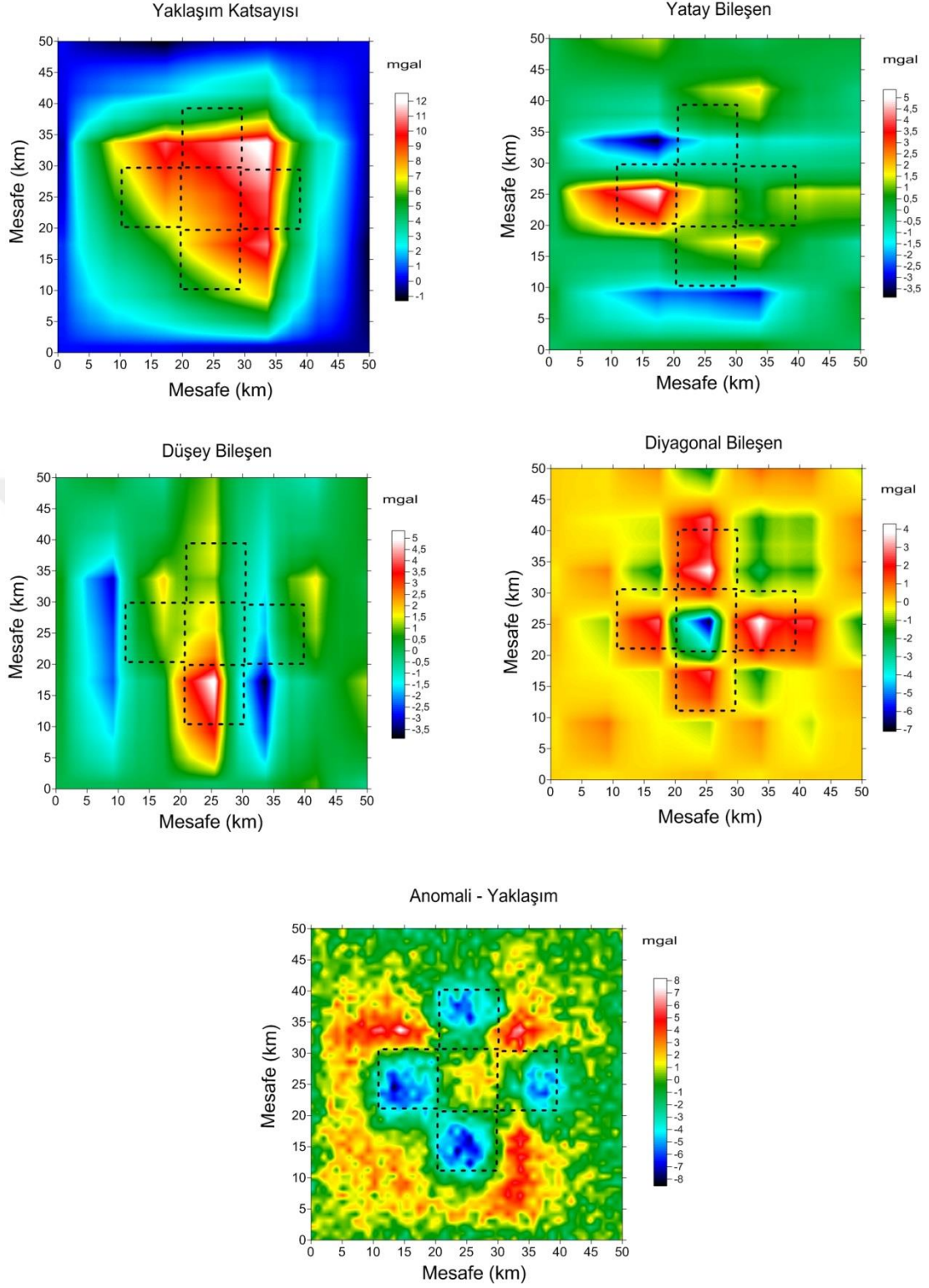
Theta map



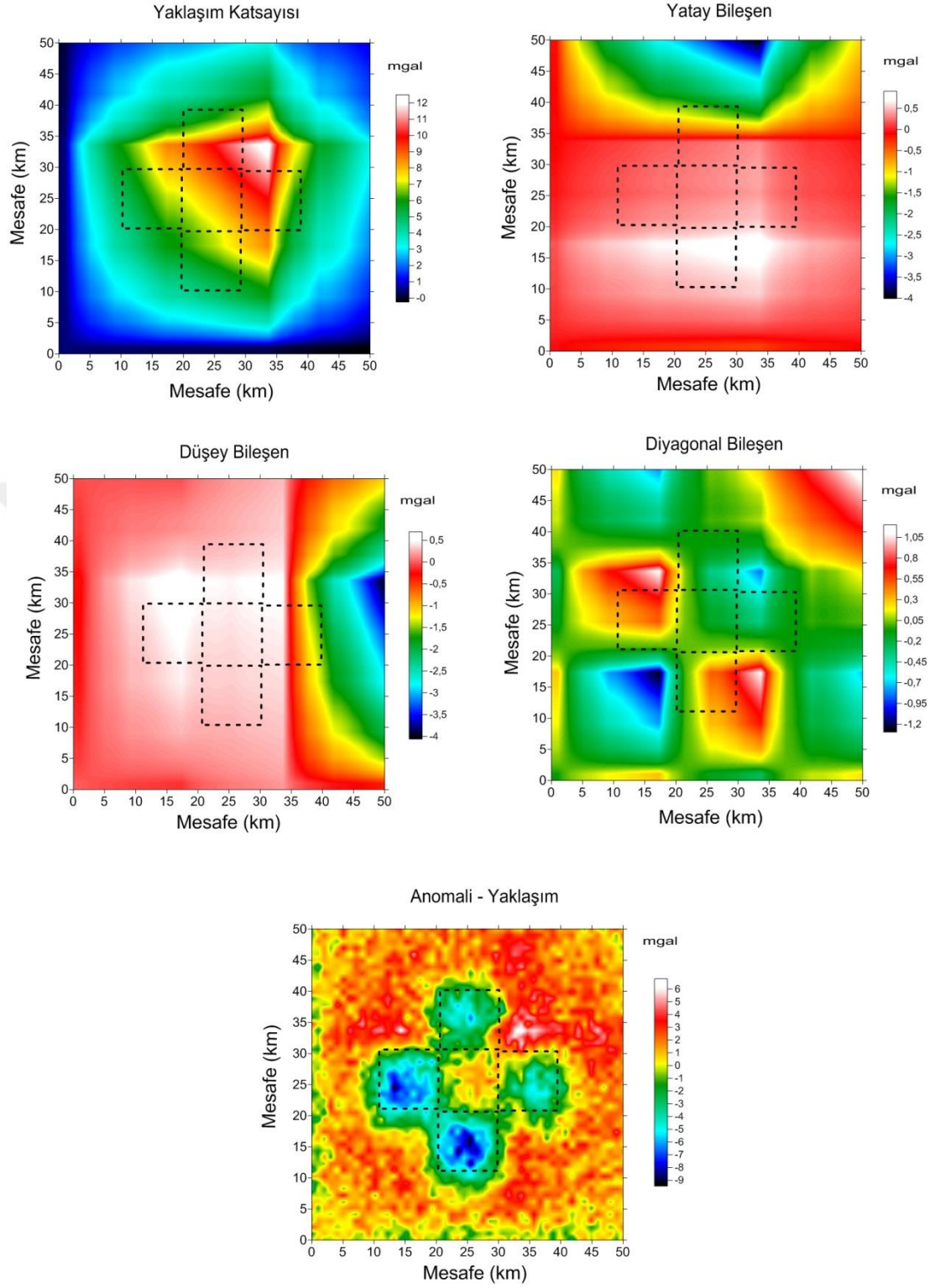
Aşağı uzanım



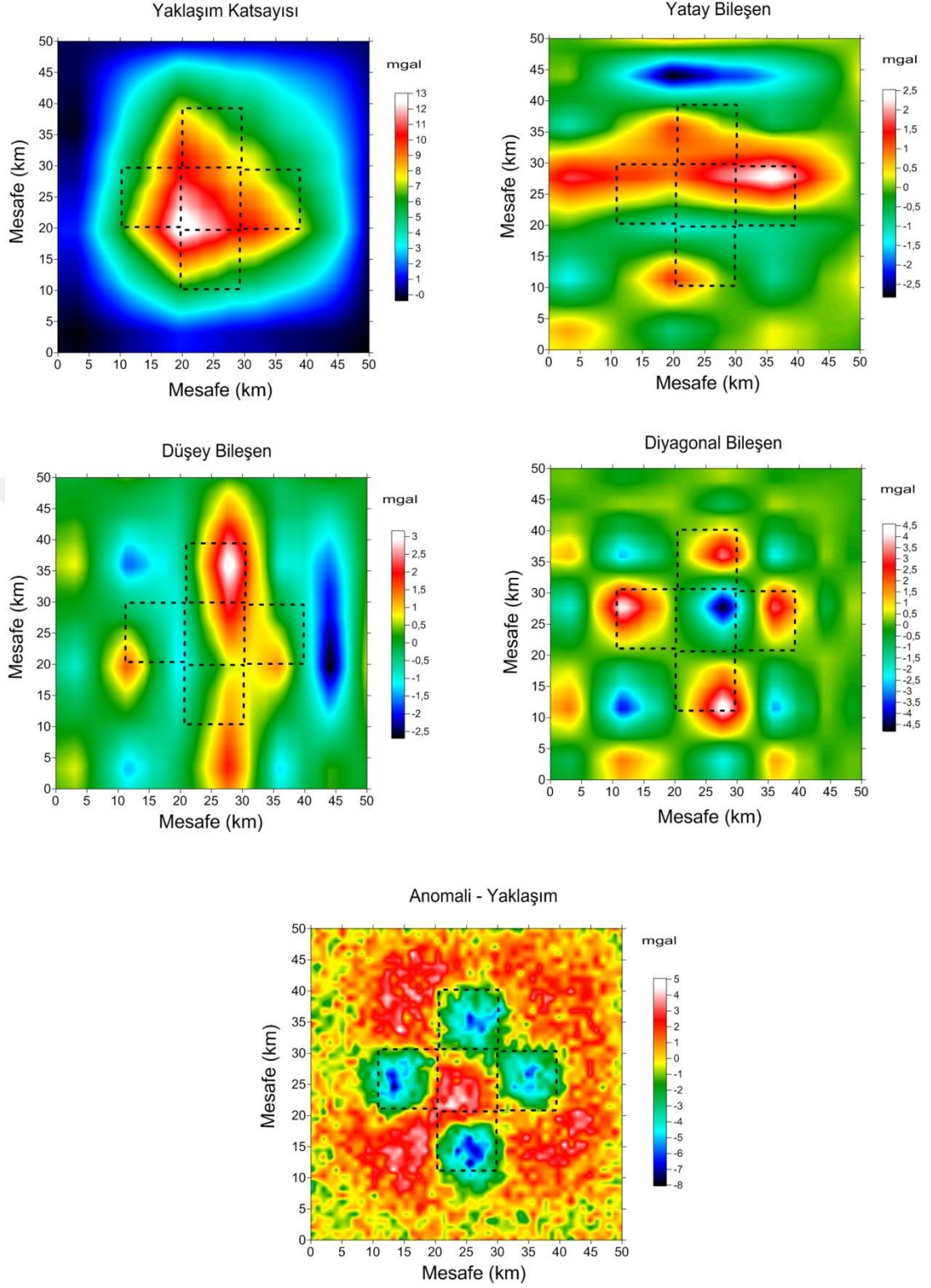
Şekil 3.39 Dört prizmanın sentetik gravite anomalisi (gürültülü), analitik uzanım ve sınır analizi sonuçları.



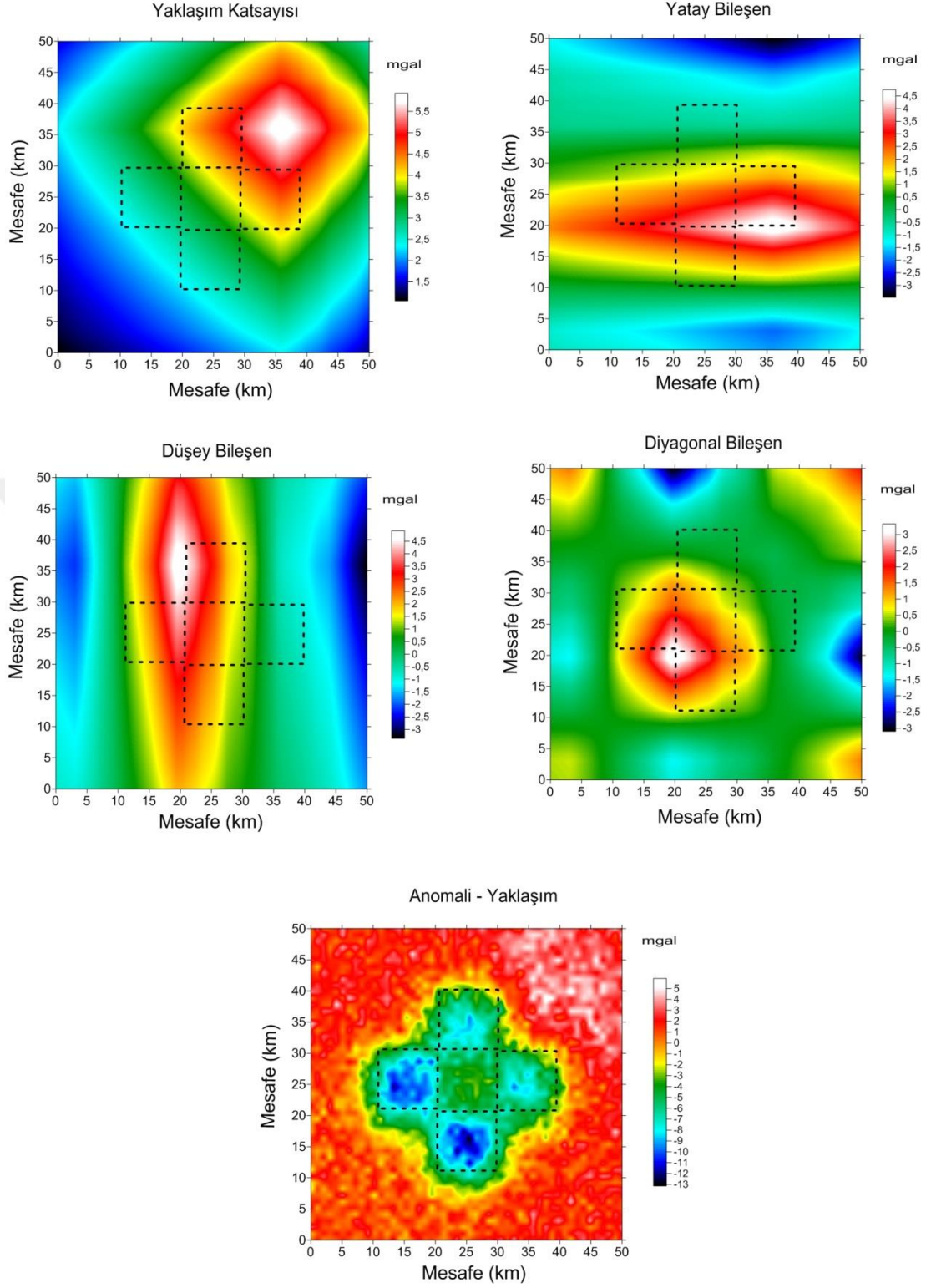
Şekil 3.40 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (4. seviye).



Şekil 3.41 Gürültülü veriye db2 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (5. seviye).



Şekil 3.42 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (4. seviye).



Şekil 3.43 Gürültülü veriye db3 dalgacığı ile dalgacık dönüşümü bileşenler ve anomali yaklaşım farkı sonuçları (5. seviye).

BÖLÜM DÖRT

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, tez konusuna adını veren dalgacık dönüşümü tekniği kullanılarak kuramsal 2B gravite verilerinden anomaliye neden olan yapıların sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle yöntemin etkinliği tek boyutlu verilerde sınanmış ve etkili sonuçlar elde edildiği düşünüldüğü için sonrasında 2B veriler üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle içerisinde 3 farklı frekans barındıran tek boyutlu sinüs dalgasına iki süreksizlik eklenmiş ve bu süreksizlikler sürekli dalgacığın içerisinde ayrımlanmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra KZFD de denenmiş ve dalgacık dönüşümü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. KZFD’nde pencere seçimine bağlı aranan süreksizlikler dar pencere seçildiğinde ayrımlanmış ancak bu seferde frekans çözünürlüğü kötüleşmiştir. Aynı şekilde pencere geniş alındığında bu defa frekans çözünürlüğü iyileşip frekans bilgisi elde edilirken, süreksizlikler gözlenememiştir. Bu dezavantajı gidermek için önerilen dalgacık dönüşümü uygulaması sonuçlarına bakıldığında, hem sinüzoidal içerisindeki süreksizliği tespit ettiği hem de sinüzoidal içerisindeki farklı bileşenleri ortaya çıkardığı görülmüştür.

Dalgacık dönüşümünün 2B uygulamasında; yeryüzünde tek, iki ve dört prizma olduğu düşünülerek oluşturulan sentetik gravite anomalileri kullanılmıştır. Bu sentetik gravite anomalilerine Potensoft programı içerisindeki yönlü türevler ve sınır belirleme operatörleri uygulanmıştır. Bu elde edilen sonuçlar dalgacık dönüşümü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gürültülü ve gürültüsüz verilerde yöntemin uygulanabilirliği denenmiştir. Tek ve iki prizmalı gürültülü ve gürültüsüz kuramsal verilerde dalgacık dönüşümü diğer uygulanan yöntemlere benzer gömülü yapıların sınırlarını tespit edebilmiştir. Ancak dört prizmalı durumda farklı derinlik, konum ve yoğunluktaki yapılardan kaynaklanan anomalinin analizinde gürültüsüz veride yine sınırlar belirlenebilirken, gürültülü durumda bu karmaşık yapıyı diğer yöntemler kadar çok da iyi analiz edememiştir.

Bu dezavantajının yanı sıra, dalgacık dönüşümünün bir diğer avantajı analiz edilen anomalinin dört bileşeninin elde edilmesidir. Bu bileşenlerden yatay ve düşey bileşenler yatay türevlere benzer çalışmaktadır. Diğer geleneksel yöntemler gibi

yapının sınırlarının belirlenmesinde gürültülü dört prizma dışında iyi sonuçlar veren dalgacık dönüşümü ek olarak yaklaşım katsayıları sayesinde rejyonel etkiyi de vermektedir. Bu sayede hem sınır analizi yapılırken hem de rejyonel rezidüel etki ayrılabilir. Bu çalışmada sentetik gravite anomalisinde rejyonel etkiyi barındıran yaklaşım katsayısı bileşenini çıkardığımızda yani yaklaşım katsayısı dışındaki diğer bileşenleri topladığımızda sınır analizi konusunda yöntemin daha etkili sonuç verdiği görülmüştür.

Dalgacık dönüşümünde karşılaşılan dezavantajlardan birisi ise ikili örnekleme (downsampling) yapmasıdır. Bu özelliğinden dolayı her bir seviye sonrası veri sayısı yarıya inmekte ve veri içerisindeki bazı detaylar atlanmaktadır. Bu yöntemde detayları iyi inceleyebilmek için verilerin çok sık aralıklarla toplanmış olması gerekmektedir. Böylece daha fazla seviyede ayrışımda yapılabilir. Ancak dalgacık dönüşümündeki bir başka avantaj olan seviye belirleme sayesinde herhangi bir seviyede ortaya çıkmayan belirtiler bir başka seviyede yakalanabilmektedir.

Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, yapı çok karmaşık olmadığı sürece, Dalgacık dönüşümü yöntemi, özellikle dalgacık türü uygun seçildiğinde diğer yöntemler kadar, hatta bazı durumlarda, daha fazla doğru modelleme olanağı sunmaktadır. Yapı sınırlarının belirlenmesinin yanı sıra rejyonel-rezidüel etkilerin de eş zamanlı olarak ayrılmasına da olanak vermektedir.

KAYNAKLAR

- Albora, A.M., Bal, A. ve Uçan, O.N. (2002). Wavelet based design of dynamical Neural Networks for magnetic map processing. *The 2nd International Conference on Earth Sciences and Electronics (ICESE-2002)*, 2, 133-140.
- Albora, A.M., Hisarlı, Z.M. ve Uçan, O.N. (2004). Application of wavelet transform to magnetic data due to ruins of Hittite civilization in Turkey. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 907-930.
- Albora, A.M., Uçan, O. N. ve Özmen, A. (2001b). Residual separation of magnetic fields using a Cellular Neural Network approach. *Pure and Applied Geophysics*, 158, 1797-1818.
- Albora, A.M., Uçan, O.N., Özmen, A. ve Özkan, T. (2001a). Separation of bouguer anomaly map using Cellular Neural Network. *Journal of Applied Geophysical*, 46, 129-142.
- Anderson, W.L. (1979). Computer program numerical integration of related Hankel transforms of orders 0 and 1 by adaptive digital filtering. *Geophysics*, 44, 1287-1305.
- Arı, N., Özen, S. ve Çolak, Ö.H. (2008). *Dalgacık teorisi wavelet MATLAB uygulamaları*. Sıhhiye Ankara: Palme Yayıncılık
- Arısoy, M. Ö. (2004). *Zeminlerde sismik dalga sönümünün kesirsel türev yaklaşımı ile modellenmesi*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Arısoy, M. Ö. ve Dikmen, Ü. (2011). Potensoft: MATLAB-based software for potential field data processing, modeling and mapping. *Computer and Geosciences*, 37, 935-942.

- Arısoy, M. Ö. (2012). *Potansiyel alan verilerinin kesirsel merteye türevler ile değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Bayazıt, M. (1996). *İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Bezдова, V., Hrabe, J. ve Segeth, K. (1992). Linear filters for solving the direct problem of potential fields. *Geophysics*, 57 (10), 1348-1351.
- Bilgili, E., Gökner, Z. C., Albora, A.M. ve Uçan O.N. (2005). Potential anomaly separation and archaeological site localisation using genetically trained multi level-cellular neural network. *ETRI Journal*, 27 (3), 294-303.
- Blakely, R.J. (1995). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press.
- Blakely, R.J. ve Simpson, R.W. (1986). Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, 51 (7), 1494-1498.
- Chakraborty, A. ve Okaya D. (1995). Frequency-time decomposition of seismic data using wavelet-based methods. *Geophysics*, 60, 1906-1916.
- Clement, W.G. (1973). Basic principles of two-dimensional digital filtering. *Geophysical Prospecting*, 21, 125-145.
- Cordell, L. ve Grauch, V.J.S. (1982). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in The San Juan Basin, New Mexico. *52nd Annual Meeting of Society of Exploration Geophysicists, Abstracts and Bibliographies*, 246–247.
- Cordell, L. ve Grauch, V.J.S., (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico. In: W.M. Hinze (Editor),

- The utility of regional gravity and magnetic maps. *Society of Exploration Geophysicists*, 181-197.
- Daubechies, I. (1988). Orthonormal bases of compactly supported wavelets, *Communications on Pure and Applied Mathematics*, *XLI*, 901-996.
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on wavelets. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 357.
- Davis, A., Murshak, A. ve Wiscombe, W. (1994). *Wavelet-based multifractal analysis of non-stationary and/or intermittent geophysical signals*, in *Wavelets in Geophysics*. San Diego: E. Foufoula-Georgiou and Kumar (Eds.), Academic Press.
- Dean, W.C. (1958). Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation. *Geophysics*, 23 (1), 97-127.
- Fedi, M. ve Quarta, T. (1998). Wavelet analysis for the regional-residual and local separation of potential field anomalies. *Geophysical Prospecting*, 46, 507-525.
- Fedi, M. ve Florio, G. (2001). Potential fields source boundaries detection by an enhanced horizontal derivative. *Geophysical Prospecting*, 49 (1), 13-25.
- Fuller, B.D. (1967). Two-dimensional frequency analysis and design of gid operators. *Mining Geophysics*, 2, 658-708.
- Gabor, D. (1946). Theory of communication. *Journal of Institute of Engineers England*, 429- 457.
- Goupillaud, P., Grossman, A. ve Morlet, J. (1984). Cycle-Octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration*, 23, 85-102.

- Grossman, A. ve Morlet, J. (1985). *Mathematics and physics*, 2. Singapore: World Scientific Publishing.
- Grossmann, A. ve Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 15 (4), 723–736.
- Hansen, R.O. ve Simmonds, M. (1993). Multiple-source Werner deconvolution. *Geophysics*, 58 (12), 1792-1800.
- Keating, P. (1992). Density mapping from gravity data using the Walsh transform. *Geophysics*, 57 (4), 637-642.
- Lavin, P.M. ve Devane, J.F.S.J. (1970). Direct design of two-dimensional digital wavenumber filters. *Geophysics*, 35 (6), 1073-1078.
- Littlewood, J.E. ve Paley, R.E.A.C. (1931). Theorems on Fourier series and power series. *The Journal of the London Mathematical Society*, 6, 230-233.
- Mallat, S.G. (1989b). Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models. *IEEE Transactions on Acoustics Speech Signal Analysis*, 37(12), 2091–2110.
- Meyer, Y. (1986). *Ondelettes, function splines, et Analyses Graduies*. University of Torino press.
- Miller, H.G. ve Singh, V. (1994). Potential field tilt – a new concept for location of potential filed sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. ve Poggi, J.M. (2009). *Wavelet ToolboxTM User's Guide*. USA: The Math Works Incorporated.

- Morlet, J., Arens, G., Fourgeau, E. ve Giard, D. (1982a). Wave propagation and sampling theory – part 1: complex signal and scattering in multilayered media. *Geophysics*, 47 (2), 203- 221.
- Nabighian, M.N. (1972). The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and used for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, 37, 507-517.
- Özyalın, Ş. (2003). *Potansiyel alanlarda otomatik değerlendirme teknikleri ve arkeolojik alanlarda uygulanması*. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Pawlowski, R.S. ve Hansen, R.O. (1990). Gravity anomaly separation by Wiener filtering. *Geophysics*, 55 (5), 539-548.
- Philips, J.D. (2001). *Processing and interpretation of aeromagnetic data for the Satra Cruse Basin-Pategonia Mountains Area*, A Preliminary Report. South-Central Arizona: U.S. Geological Survey Open File Report.
- Polikar, R. (1996). *Wavelet tutorial, Part I, Part II, Part III*, Iowa State University, USA.
- Roest, W.R. ve Pilkington, M. (1993). Identifying remanent magnetization effects in magnetic data. *Geophysics*, 58, 653-659.
- Roest, W.R., Verhoef, J. ve Pilkington, M. (1992). Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics*, 57 (1), 116-125.
- Shahabi, C., Chung, S. ve Safar, M. (2001). A wavelet-based approach to improve the efficiency of multi-level surprise mining. *PAKDD International Workshop on Mining Spatial and Temporal Data*, Hong Kong.

- Şeker, S., Uçan, O.N., Albora, A.M. ve Özmen, A. (1999). 2-D wavelet application on geophysics. *Eleco '99 International Conference on Electrical and Electronics Engineering- Bursa*, 390-394.
- Uçan, O. N., Albora, A. M. ve Özmen, A. (2003). Evaluation of tectonic structure of Gelibolu Turkey using steerable filters. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6 (4), 221 – 234.
- Uçan, O.N. Şen, B., Albora, A. M. ve Özmen, A. (2000d). A new gravity anomaly separation approach: differential Markov random field DMRF. *Electronic-Geosciences*, 5, 1.
- Uçan, O.N. ve Albora, A.M. (2001). Evaluation of Akdag iron ore reserves using differential Markov Random Field (DMRF). *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 4, 101-110.
- Uçan, O.N., Bilgili, E. ve Albora, A.M. (2002). Magnetic anomaly separation using Genetic Cellular Neural Networks. *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 5, 65-70.
- Uçan, O.N., Bilgili, E. ve Albora, A.M. (2002b). Magnetic anomaly separation using genetic cellular neural Networks. *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 5, 65-70.
- Uçan, O.N., Şeker, S., Albora, A.M. ve Özmen, A. (2000b). Separation of magnetic field data using 2-D wavelet, *European Geophysical Society XXV General Assembly*, Nice- France.
- Uçan, O.N., Şen, B., Albora, A.M. ve Özmen, A. (2000a). A new gravity separation approach, differential Markov Random Field (DMRF), *Electronic Geosciences*, 5, 1.

- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M. ve MacKenzie, C. (2004). New insights into magnetic derivatives for structural mapping. *The Leading Edge*, 23 (2), 116-119.
- Walker, J.S. (1997). Fourier analysis and wavelet analysis. *Notices of the American Mathematical Society*, 44, 658-670.
- Wessel, P. (1998). An empirical method for optimal robust regional-residual separation of geophysical data. *Mathematical Geology*, 30 (4), 391-408.
- Wijns, C., Perez, C. ve Kowalczyk, P. (2005). Theta map: Edge detection in magnetic data. *Geophysics*, 70 (4), L39-L43.
- Yakar, E. (2006). *Sar görüntülerinde benek gürültüsünün giderilmesi için çoklu dalgacık dönüşümüne dayalı yeni bir yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Zurflueh, E. (1967). Applications of two-dimensional linear wavelength filtering. *Geophysics*, 32 (6), 1015-1035.