İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERE NÜFUZ EDEN RADARLARDA LIFTING TEMELLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE KARGAŞA BASTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe AKDOĞAN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

EYLÜL 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERE NÜFUZ EDEN RADARLARDA LIFTING TEMELLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE KARGAŞA BASTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe AKDOĞAN
(504091352)

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Işın YAZGAN ERER

EYLÜL 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091352 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ayşe AKDOĞAN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YERE NÜFUZ EDEN RADARLARDA LIFTING TEMELLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE KARGAŞA BASTIRMA "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Işın YAZGAN ERER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç. Dr. Abdullah BAL** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Mesut KARTAL İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **23 Eylül 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez hazırlanırken yere nüfuz eden radarlarda kargaşa bastıran yöntemler incelenmiş ve uygulanmış olup, daha yüksek verim sunan bir yöntem önermek hedeflenmiştir.
Tez çalışmam süresince bilgisiyle beni aydınlatan ve yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Işın Yazgan Erer'e, yüksek lisans eğtimimin daha renkli ve dolu geçmesini sağlayan sevgili arkadaşım Kevser Bozoğlu'na, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme ve her zaman yanımda olan Mustafa Yağımlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eylül 2013

Ayşe Akdoğan
(Elektrik Elektronik Mühendisliği)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. YERE NÜFUZ EDEN RADAR VE KARGAŞA BASTIRMA TEKNİKLERİ **5**
2.1 Yere Nüfuz Eden Radar ve Kullanım Alanları 5
2.1.1 Tarama yöntemine göre yere nüfuz eden radar verileri 6
2.2 Kargaşa Bastırma Teknikleri 8
2.2.1 Ortalama ve medyan çıkarma 8
2.2.2 Tekil değer ayrışımı 8
2.2.3 Temel bileşen analizi 10
2.2.4 Bağımsız bileşen analizi 12
2.2.5 Dalgacık dönüşümü 14
2.2.5.1 Sürekli dalgacık dönüşümü 16
2.2.5.2 Ayrık dalgacık dönüşümü 16
Dalgacık dönüşümü yönteminde yüksek dereceli istatistikler kullanılarak kargaşa bastırılması 18
Yüksek dereceli istatistik 19
Yüksek dereceli istatistik ile kargaşa giderme 20
Gauss Testi 20
2.2.5.3 Dalgacık paket dönüşümü 23
2.2.5.4 Durağan dalgacık dönüşümü 23
3. LIFTING DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ **25**
3.1 Alt Örneklemeli Lifting Dalgacık Dönüşümü 25
3.2 Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü 27
3.3 Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü ile Kargaşa Bastırma 29
4. MATERYAL VE METOD **31**
4.1 Kullanılan Radargram ve Özellikleri 31
4.2 Kargaşa Bastırma Tekniklerinin Radargrama Uygulanması 35
4.2.1 Ortalama çıkarma 35
4.2.2 Medyan çıkarma 36
4.2.3 Tekil Değer Ayrışımı Tekniğinin radargrama uygulanması 38
4.2.4 Temel Bileşen Analizi Tekniğinin Radargrama Uygulanması 41
4.2.5 Bağımsız Bileşen Analizi tekniğinin radargrama uygulanması 45
4.2.6 Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Radargrama Uygulanması 46
4.2.7 Dalgacık Paket Dönüşümünün radargrama uygulanması 48

4.2.8 Durağan Dalgacık Dönüşümünün radargrama uygulanması 49
4.2.9 Lifting Dalgacık Dönüşümünün radargrama uygulanması 51
4.3 Kargaşa Bastırma Tekniklerinin Karşılaştırılması 53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 57
KAYNAKLAR..... 59
ÖZGEÇMİŞ..... 63

KISALTMALAR

AP : Anti Personnel
ADD : Ayrık Dalgacık Dönüşümü
BBA : Bağımsız Bileşen Analizi
CWT : Continious Wavelet Transform
DDD : Durağan Dalgacık Dönüşümü
DPD : Dalgacık Paket Dönüşümü
DWT : Discrete Wavelet Transform
GPR : Ground Penetrating Radar
ICA : Independent Component Analysis
KZFD : Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
LWT : Lifting Wavelet Transform
PCA : Principal Component Analysis
RTV : Room Temperature Vulcanizing Silicone
STFT : Short Time Fourier Transform
SVD : Singular Value Decomposition
SWT : Stationary Wavelet Transform
SLWT : Stationary Lifting Wavelet Transform
TBA : Temel Bileşen Analizi
TDA : Tekil Değer Ayrışımı
UWB : Ultra Wide Band
WPT : Wavelet Packet Transform

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Senaryo planındaki gömülü cisimler. 33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Yere nüfuz eden radar cihaz örneği…… 5
Şekil 2.2 : Yere nüfuz eden radar düzeneğinin şematik gösterimi……...6
Şekil 2.3 : Örnek bir radargram……7
Şekil 2.4 : Radargramın üç boyutlu görünümü…… 8
Şekil 2.5 : Sinyal işleme tekniklerine ait grafikler……15
Şekil 2.6 : Ayrık Dalgacık Dönüşümü'nün bir seviye için gerçeklenmesi…… 17
Şekil 2.7 : Üç seviye Ayrık Dalgacık Dönüşümü…….. 17
Şekil 2.8 : Bir seviye için alt örnekleme-ayrışım ve üst örnekleme-yeniden elde etme işlemi……..18
Şekil 2.9 : Dalgacık Paket Dönüşümü……23
Şekil 2.10 : Durağan Dalgacık Dönüşümü……24
Şekil 3.1 : Bir boyutlu alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümü şeması 25
Şekil 3.2 : Alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümünde ayırma işlemi..... 26
Şekil 3.3 : Bir boyutlu alt örneklemeli ters Lifting dalgacık dönüşümü. 27
Şekil 3.4 : Alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşüm ve ters dönüşüm işlemi. 28
Şekil 4.1 : Senaryo planı ve objelerin yerleşimi. 32
Şekil 4.2 : 102 nolu B-tarama'e ait radargramın 2 boyutlu grafiği 34
Şekil 4.3 : 102 nolu B-tarama'e ait radargramın 3 boyutlu grafiği 34
Şekil 4.4 : Ortalama çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 35
Şekil 4.5 : Ortalama çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 36
Şekil 4.6 : Medyan çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 37
Şekil 4.7 : Medyan çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 37
Şekil 4.8 : Tekil değer ayrışımı yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 38
Şekil 4.9 : Tekil değer ayrışımı yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 39
Şekil 4.10 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşası. 40
Şekil 4.11 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile üçüncü bileşenlerden elde edilen görüntü. 40
Şekil 4.12 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile dördüncü bileşenlerden elde edilen görüntü. 41
Şekil 4.13 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile beşinci bileşenlerden elde edilen görüntü. 41
Şekil 4.14 : Temel bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 42
Şekil 4.15 : Temel bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 42

Şekil 4.16 : Temel bileşen analizi yöntemi ile birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşası. 43
Şekil 4.17 : Temel bileşen analizi yöntemi ile üçüncü bileşenlerden elde edilen görüntü. 43
Şekil 4.18 : Temel bileşen analizi yöntemi ile dördüncü bileşenlerden elde edilen görüntü. 44
Şekil 4.19 : Temel bileşen analizi yöntemi ile beşinci bileşenlerden elde edilen görüntü. 44
Şekil 4.20 : Bağımsız bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 45
Şekil 4.21 : Bağımsız bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 46
Şekil 4.22 : Ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 47
Şekil 4.23 : Ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 47
Şekil 4.24 : Dalgacık paket dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 48
Şekil 4.25 : Dalgacık paket dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 49
Şekil 4.26 : Durağan dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 50
Şekil 4.27 : Durağan dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 50
Şekil 4.28 : Lifting dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü. 51
Şekil 4.29 : Lifting dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü. 52
Şekil 4.30 : Kargaşa bastırma tekniklerinin karşılaştırılması. 55

YERE NÜFUZ EDEN RADARLARDA LIFTING TEMELLİ DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE KARGAŞA BASTIRMA

ÖZET

Uzun zamadır süregelen bir sorun olan insan öldürücü mayınların tespiti için donanım ve yazılım alanında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Farklı yöntemlerle yer yüzeyinin taranması ve tarama sonucu elde edilen veriye uygulanan farklı yazılımlarla hedef tespitinin verimi günden güne artmaktadır. Tespit edilmek istenen mayınlar önceden her ne kadar sadece metalden oluşsa da, günümüzde az miktarda metal içeren ve bünyesinde hiç metal içermeyen mayınlar geliştirilmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak metal mayınların tespitinde etkin olarak kullanılan metal dedektörler bu mayınlar için yetersiz kalmaktadır. Yere nüfuz eden radar ile sadece metal mayınların değil, metal olmayan ve bünyesinde az miktarda metal içeren mayınların da tespit edilmesi sağlanmış olup, verimi artırmak adına da farklı sinyal işleme teknikleri geliştirilmiştir.

Tez çalışmasında belirli özelliklere sahip araziye gömülen cisimlerin oluşturduğu senaryo üzerinden radargramlar elde edilmiştir. Bu senaryolar taranan alanın altında gömülü bulunan nesnelerin tipine, gömüldükleri derinliğe, komşu alandaki gömülü nesnelere ve toprak yapısına bağlı olarak birbirinden farklılık göstermektedirler. Elde edilen radargramlar kargaşa ve gürültü içermekte, olup hedef tespiti için kargaşa ve gürültünün giderilmesi amacıyla farklı sinyal işleme teknikleri uygulanmıştır. Radargramlara; ortalama çıkarma, medyan çıkarma, tekil değer ayrışımı, temel bileşen analizi, bağımsız bileşen analizi, ayrık dalgacık dönüşümü, dalgacık paket dönüşümü, durağan dalgacık dönüşümü ve Lifting dalgacık dönüşümü yöntemleri uygulanmış olup elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre; ortalama ve medyan çıkarma yöntemleri ile hedef tespiti çok iyi bir şekilde gerçekleştirilemese de yüzeyden yansıyan kargaşa büyük oranda yok edilmiştir. Tekil değer ayrışımı ve temel bileşen analizi yöntemleri ortalama ve medyan çıkarma yöntemlerine göre daha iyi sonuç vermektedir ancak sadece metal hedefi tespit ettikleri gözlenmektedir. Bağımsız bileşen analizi de yüzeyden yansıyan kargaşayı etkin şekilde giderse de temel bileşen analizi kadar iyi sonuç vermemiştir. Ayrık dalgacık dönüşümü ise gerek kargaşanın bastırılması gerekse metal ve ametal hedeflerin tespit edilmesinde iyi bir sonuç vermiştir, dalgacık paket dönüşümü ayrık dalgacık dönüşümüyle hemen hemen aynı verime sahipken durağan dalgacık dönüşümünün diğer dalgacık dönüşüm yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu durumda radargrama uygulanacak olan Lifting dalgacık dönüşümünden daha iyi verim almak adına durağan tabanlı (alt örrneklemesiz) Lifting dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. İşlem süresi diğer dalgacık dönüşüm yöntemlerine göre çok daha kısa iken, hedef diğer bütün yöntmelere göre daha net bir şekilde tespit edilmiştir.

Yere nüfuz eden radar cihazıyla sadece yeraltı değil sivil alanda duvar arkası görüntülemede de elde edilen radargramlara bu teknikler uygulanarak amaca uygun sonuçlar elde edilmesi mümkün kılınmaktadır.

.

LIFTING WAVELET TRANSFORM BASED CLUTTER SUPPRESSION TECHNIC FOR GROUND PENETRATING RADAR

SUMMARY

Lots of exploration has been made on both software and hardware field to detect anti- personnel (AP) land mine which is a critical problem for humanity. Thanks to variable methods for scanning surface and different signal processing methods accuracy of GPR imaging technics is increased. Although anti-personnel mines were consisted of metal before, lot of mines are developed as including only just a few or no metal component nowadays. Consequently, although metal detectors detect metallic targets efficiently, they are insufficient to detect non-metallic targets. Owing to ground penetrating radar, not only metallic mines but also non-mettalic mines can be detected.

Ground Penetrating Radar (GPR) is a geophysical method that uses radar pulses to image the subsurface. This nondestructive method uses elecctromagnetic radiation in the microwave band of the radio spectrum and detects the reflected signals from subsurface structures. GPR can be used in a variety of media, including rock, soil, ice, pavements and structures. It can detect objects, changes in material and voids and cracks also. GPR uses high frequency radio waves and transmits into ground. When the wave hits a buried object or a boundary with different dielectric constants, the receiving antenna records variations in the reflected return signal. The principiles involved are similar to reflection seismology, except that electromagnetic energy is used instead of acoustic energy, and reflections appear at boundaries with different dielectric constants instead of acoustic impedances.

While scanning the surface, single waveform, which recorded, by the GPR for the each fixed antenna position, is named as A-scan. Two dimensional B-scan can be obtained by moving GPR antenna on a line and collecting A-scans for each antenna position.B-scans are also called as radargram. This two dimensional image represents a vertical slice in the ground. Time axis or the related depth axis is usually pointed as downwards. Reflections on a point scatterer located below the surface appear, due to the bandwith of the transmitting and the receiving antenna, as hyperbolic structures in a B-scan.

In this thesis, different kinds of the radargrams are obtained according to different scenarios, which are composed of different buried object types. These scenarios differ according to the objects type that are buried under the scanned line, depth of the objects, soil type and properties of buried object under adjacent line.

Obtained radargrams are composed of clutter and target signal. Therefore, different signal processing techniques are applied to radagrams to suppress the clutter Some of these signal-processing techniques can be exemplified as mean and median substraction, singular value decomposition, principal component analysis, independent component analysis, discrete wavelet transform, wavelet packet transform and stationary wavelet transform.

Mean or median substraction method is efficient to remove air-ground interface but it is insufficient to detect the targets as absouletly accurate.

Singular Value Decomposition (SVD) method, which is widely used for data compression, denoising and pattern recognition processes; is applied to radargram to suppress the clutter. Via applying this method to radargram, it is aimed to decompose radargram into different spectral components. According to this algorithm the first spectral component contains clutter, the second one contains target. However, non-metallic target cannot be observed on the second spectral component, which contains metallic target. In addition, some of the information of the metallic target's can be spread over other spectral components. Because of these reasons, singular value decomposition algorithm is insufficient to suppress whole clutter efficiently and cannot detect metallic and non-metallic targets on unique component.

Principal Component Analysis (PCA) is another technic used as for data compression, image analysis, denoising and pattern recognition. It depends on obtaining uncorrelated linear combinations (principal components) of a set of random zero mean variables while retaining as much of the information from the original data as possible. After applying this algorithm to radargram, it is observed that the first component contains clutter and the second component contains target information but as it seen on SVD's result, non- metallic target cannot be contained by the component, which has metallic target information. Nevertheless, this technic is more efficient to suppress clutter than singular value decomposition.

Independent Component Analysis (ICA) is based on the assumption that signal components are statistically independent and have non- Gaussian distributions where these distributions may be unknown. There are kinds of algotihms for ICA, such as JADE, Infomax, Fixed Point (Fast ICA) etc... In this thesis, Fast ICA is applied to radargram but because of obscurity about the component, which has the most information; clutter suppression is insufficient. Non-metallic targets cannot be detected clearly also.

Wavelet Transform is a signal processing method based on analysing a signal on different resolutions for different frequencies. Data compression and denoising,.can be indicated as the main application areas of wavelet transform. There are different types of wavelet transforms such as: Continuous Wavelet Transform (CWT), Discrete Wavalet Transform (DWT), Wavelet Packet Transform (WPT), Stationary Wavelet Transform etc…For all of the wavelet transform, one dimensional wavelet transform is applied for each rows of radargram and before reconstruction process, treshold is applied which based on higher order statistics.

In the case of applying DWT algorithm to radargram,each row of radargram is filtered by high pass and low pass filters, this process is repeated as the number of level. After first filtering process, only just approximation part is filtered again. Tresholing process based on higher order statistics is applied and reconstruction process is implemented. After applying DWT to radargram, it is observed that clutter suppression is more efficient than the other technics and metallic and non-metallic targets can be detected clearly.

While filtering process is applied only just approximation part of the signal in DWT, both detail and approximation parts are filtered in WPT. If some of the target information is included by the detail part, more accurate result can be obtained by WPT.

The other applied wavelet type is Stationary Wavelet Transform. For this process after filtering process, the signal is not sub-sampled. Therefore, its length doesn't change after filtering. It can be called as shift – invariant wavelet transform.After applying this algorithm to radargram it is observed that the best clutter suppression process is achieved by this technic.

But, because of huge computing load, new method is searched to obtain both efficient clutter suppression and short computing time.
In this thesis, it is aimed to obtain more efficient clutter suppression and short computing time using Stationary Lifting Wavelet Transform (SLWT). Lifting Wavelet Transform (LWT) is second generation fast wavelet transform and doesn't rely on fourier transform. It is composed of split, predict and update operations. These split and merge processes are replaced by up sampling and down sapling process on DWT. So computational complexity is reduced significantly. LWT also has less memory requirements, reduced distortion and aliasing effects, good reconstruction, less computation and computational complexities. For SLWT, signal length doesn't alter so it is composed of only just predict and update operations. After applying SLWT to radargram it is observed that clutter suppression and both metallic and non-metallic target detection is more efficient than SWT and process duration is less than SWT.

1. GİRİŞ

Mayınlar dünya genelinde milyonlarca insanın ölümüne sebep olmuş ve hala da olmaktadır. 62 ülkede 110 milyondan fazla mayın her yıl yaklaşık 26,000 kişinin ölümüne sebep olmaktadır [1]. Metal dedektörler, akustik sensörler, kızılötesi görüntüleme sistemleri ve eğitilmiş köpekler mayın tespiti için kullanılan unsurlardan bazılarıdır. Elektromanyetik dalgaları kullanan, yere nüfuz eden radar ise alternatif ve etkili bir yöntemdir. Bu yöntem, yapısında az miktarda metal içeren ya da hiç metal içermeyen plastik mayınların tespitinde, metal dedektörlere göre daha etkilidir [2 - 4].

Yere nüfuz eden radar, yer altına ya da duvar arkasına gönderilen elektromanyetik dalgaların yayılım, yansıma ve saçılma prensibine dayanarak görüntüleme sağlayan bir cihazdır. Yer altına gönderilen elektromanyetik dalgalar herhangi bir süreksizlikle karşılaştıkları anda saçılma ya da yansımaya uğrarlar. Yansıyan dalgalar alıcı anten sayesinde yakalanır ve sayısal sinyale dönüştürülerek kayıtçı tarafından kayıt edilir. Elde edilen bu kayıt radargram olarak adlandırılmaktadır [5].

Radargramda hedef tespiti için kargaşa ve gürültünün giderilmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli sinyal işleme tekniklerinin uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ortalama çıkarma [5] ve medyan çıkarma [6], tekil değer ayrışımı [7], temel bileşen analizi [8], bağımsız bileşen analizi [9] ve dalgacık dönüşüm algoritması uygulanan yöntemlerden bazılarıdır.

Yere nüfuz eden radar verisine uygulanan ortalama ve medyan çıkarma yöntemi, daha çok yüzeyden gelen yansımaların oluşturduğu kargaşayı gidermekte başarılı olsa da hedefin olduğu noktaları keskin bir şekilde ortaya çıkarmak için yetersiz kalmıştır [5].

Sinyal ve görüntü işleme alanında veri sıkıştırma, gürültü giderme, örüntü tespiti gibi alanlarda kullanılan tekil değer ayrışımı yöntemi yere nüfuz eden radar verisine uygulanmıştır [10, 11].

Önerilen tekil değer ayrışımı yöntemi ile veri, sinyal ve gürültü olmak üzere birbirini tamamlayan alt uzaylara ayrılarak hedef tespiti amaçlanmıştır. Yöntem ile elde edilen sonuç olarak, hedef birkaç alt uzaya dağıldığı için, metal hedefin tespit edildiği bileşende metal olmayan hedeflerin de tespiti mümkün olmamaktadır Ayrıca geri plan kargaşanın yüksek oranda bastırılması işleminde bu yöntem yetersiz kalmaktadır [5].

Tekil Değer Ayrışımı gibi sinyal işleme, veri sıkıştırma, veri görüntüleme, görüntü analizi ve örüntü tanıma gibi birçok alanda kullanılan Temel Bileşen Analizi de kargaşa bastırmak için yere nüfuz eden radar versine uygulanmıştır [12, 13]. Verinin bileşenleri arasındaki korelasyon arttıkça verimi artan bu yöntemin uygulanması sonucunda, kargaşa ve hedefler farklı bileşenler tarafından tutularak ortaya çıkarılmaktadır. Tekil değer ayrışımı yöntemine göre geri plan kargaşayı daha iyi bastıran bu yöntem de metalik olmayan hedeflerin tespitinde yetersiz kalmaktadır.

Fastica, Jade, Infomax gibi farklı algoritmalara sahip olan Bağımsız Bileşen Analizi, uygulandığı veriyi bağımsız bileşenlerine ayırma prensibine dayanan bir yöntemdir [14]. Fastica algoritması uygulanan yere nüfuz eden radar verisi birbirinden bağımsız bileşenlerine ayrılsa da hangi bileşenin en çok bilgiye sahip olduğu belirsiz olduğu için geri plan kargaşayı istenen oranda bastıramamaktadır. Ayrıca metal olmayan hedeflerin bulunmasında Fastica algoritması da yetersiz kalmaktadır.

Başlıca uygulama alanları gürültü giderme ve veri sıkıştırma olan Dalgacık Dönüşüm Algoritması, sinyali farklı frekans değerleri için farklı çözünürlükte inceleyen bir yöntemdir [15]. Sürekli Dalgacık Dönüşümü, Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Dalgacık Paket Dönüşümü, Durağan Dalgacık Dönüşümü gibi çeşitleri vardır [16].

Ayrık Dalgacık Dönüşümü yöntemi ile yüksek ve alçak geçiren filtreden geçirilen, sinyalin, sadece yaklaşık kısımlarına dönüşüm uygulanmaktadır. Diğer yöntemlere göre, metalik olmayan hedefleri de metalik hedeflerle beraber tespit ederek ve geri plan kargaşayı kısmen daha iyi bastırarak iyi performans sergilediği tespit edilmiştir [17].

Dalgacık Paket Dönüşümü, Ayrık Dalgacık Dönüşümü'ne göre sadece yaklaşık kısımlara değil, detay kısımlara da dönüşüm uygulanmasıyla farklılık göstermektedir [18]. Dalgacık Paket Dönüşümü uygulanan yere nüfuz eden radar verilerinde, geri

plan kargaşanın bastırıldığı, ayrıca metalik ve metalik olmayan hedeflerin bulunduğu tespit edilmiştir [19].

Tez çalışmasında daha önce denenmiş yöntemlerden ortalama çıkarma, medyan çıkarma, tekil değer ayrışımı, temel bileşen analizi, bağımsız bileşen analizi, ayrık dalgacık dönüşümü, dalgacık paket dönüşümü ve durağan dalgacık dönüşümü yöntemleri veriye uygulanmış olup, elde edilen sonuçlara göre en iyi performansı durağan dalgacık dönüşümünün sergilediği gözlenmiştir. Bütün dalgacık dönüşüm algoritmalarında, daha iyi sonuç elde edebilmek adına yüksek dereceden istatistik değerleri kullanılarak eşikleme işlemi gerçekleştirilmiştir [19].

Diğer dalgacık dönüşümlerine göre dönüşüm ve ters dönüşüm işlemlerinin kolay oluşu ve işlem süresinin daha kısa oluşu göz önünde bulundurularak Lifting Dalgacık Dönüşümü'nün veriye uygulanması hedeflenmiştir. Önceki yöntemlerle elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak; geri plan kargaşasını iyi bir şekilde bastırması ve hedefi ortaya çıkarması açısından en iyi sonucu Durağan Dalgacık Dönüşümü verdiği için; Lifting Dalgacık Dönüşümü durağan olacak şekilde (alt örneklemesiz) veriye uygulanmış olup, hem geri plan kargaşanın bastırılması, hem metalik ve metalik olmayan hedeflerin çok daha net bir şekilde ortaya çıkarılması, hem de işlem süresinin kısa oluşu açısından Durağan Dalgacık Dönüşümü'ne göre daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Bölüm 2'de genel olarak yere nüfuz eden radar ve çalışma prensibi, kullanılan veri olan radargram ve kargaşa bastırma tekniklerine (ortalama çıkarma, medyan çıkarma, tekil değer ayrışımı, temel bileşen analizi, bağımsız bileşen analizi, ayrık dalgacık dönüşümü, dalgacık paket dönüşümü, durağan dalgacık dönüşümü) yer verilmiştir.

Bölüm 3'te Lifting Dalgacık Dönüşümü ile ilgili bilgi verilmiş olup, yere nüfuz eden radar verisine yöntemin uygulanış şekli anlatılmaktadır.

Bölüm 4'te, tez çalışmasında kullanılan veri ve elde edildiği ortama ait senaryo hakkında bilgi verilmiş olup, bölüm 2 ve bölüm 3'te anlatılan bütün yöntemlerin veriye uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlara yer verilip performans analizi yapılmıştır.

Bölüm 5'te ise sonuçlar ve öneriler anlatılmıştır.

2. YERE NÜFUZ EDEN RADAR VE KARGAŞA BASTIRMA TEKNİKLERİ

2.1 Yere Nüfuz Eden Radar ve Kullanım Alanları

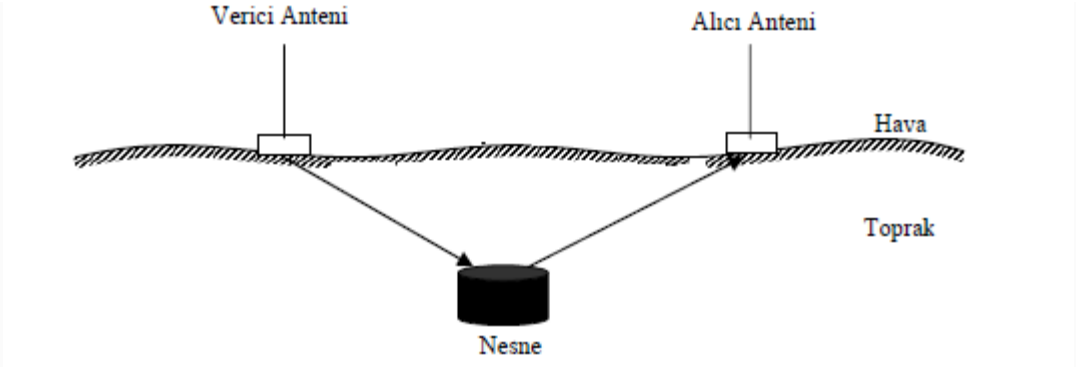
Yere nüfuz eden radar, yer altı ya da duvar arkasına gönderilen elektromanyetik dalgaların yayılım, yansıma ve saçılma prensibine dayanarak görüntüleme sağlayan bir cihazdır [20].

Yere nüfuz eden radar verici anten, kontrol ünitesi, alıcı anten ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Yere nüfuz eden radardan toprağa etkili bir şekilde enerji yayılabilmesi için, radar yüzeye mümkün olduğu kadar yakın çalıştırılır. Yer altına ya da duvar arkasına verici anten ile gönderilen birkaç nanosaniyeli (ns), yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların bir kısmı yer altında herhangi bir süreksizlikle karşılaştıkları anda saçılma ya da yansımaya uğrarlar. Yansıyan dalgalar alıcı anten sayesinde yakalanır ve sayısal sinyale dönüştürülerek kayıtçı tarafından kayıt edilir. Kayıt edilen bu sinyale amaca göre çeşitli sinyal işleme teknikleri uygulanır. Yere nüfuz eden radar (GPR: Ground Penetrating Radar) ‘ın performansını sadece kullanılan donanım ve yazılım değil; toprak ve hedefin gerek elektriksel gerek manyetik özellikleri, hedef cismin boyutu ve bulunduğu derinlik de belirlemektedir [20]. Şekil 2.1’de yere nüfuz eden radar cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Yere nüfuz eden radar cihaz örneği.

Günümüzde yere nüfuz eden radar yöntemi yer, yapı, tünel, arkeojeofizik, endüstriyel atık, sızıntı ve çevre kirlenmesi araştırmasında aynı zamanda mayın tespiti için askeri alanda kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de yere nüfuz eden radar düzeneğinin şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.2 : Yere nüfuz eden radar düzeneğinin şematik gösterimi.

Amaca göre, uygun merkez frekansının ve radar darbesinin uygun bant genişliğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Örneğin derindeki bir hedefin tespit edilmesi için düşük frekanslar seçilmelidir. Çünkü frekans arttıkça topraktaki zayıflama da artacaktır. Ancak küçük boyutlu hedeflerin tespit edilebilmesi için iyi bir çözünürlüğe ihtiyaç duyulmasından dolayı yüksek frekansa ihtiyaç duyulmaktadır. Derinde ve çok küçük hedeflerin tespiti için ise çok geniş frekans bantlı (UWB: Ultra Wide Band) anten kullanılmalıdır [20].

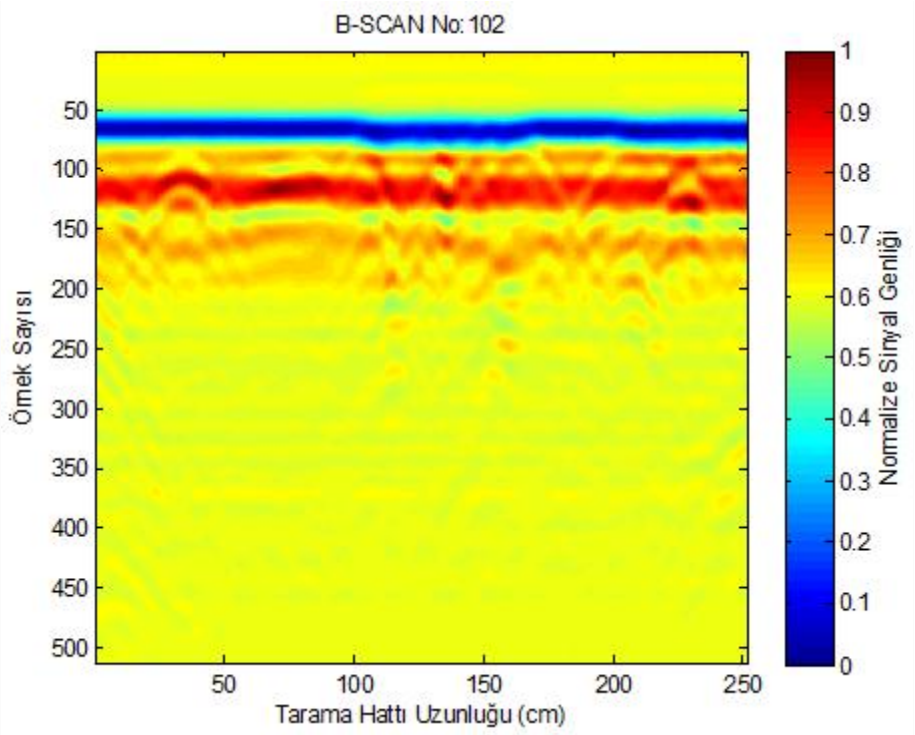
2.1.1 Tarama yöntemine göre yere nüfuz eden radar verileri

Tarama yöntemine göre, yere nüfuz eden radar ile görüntüleme çeşitleri üç farklı kategoride incelenebilir [21].

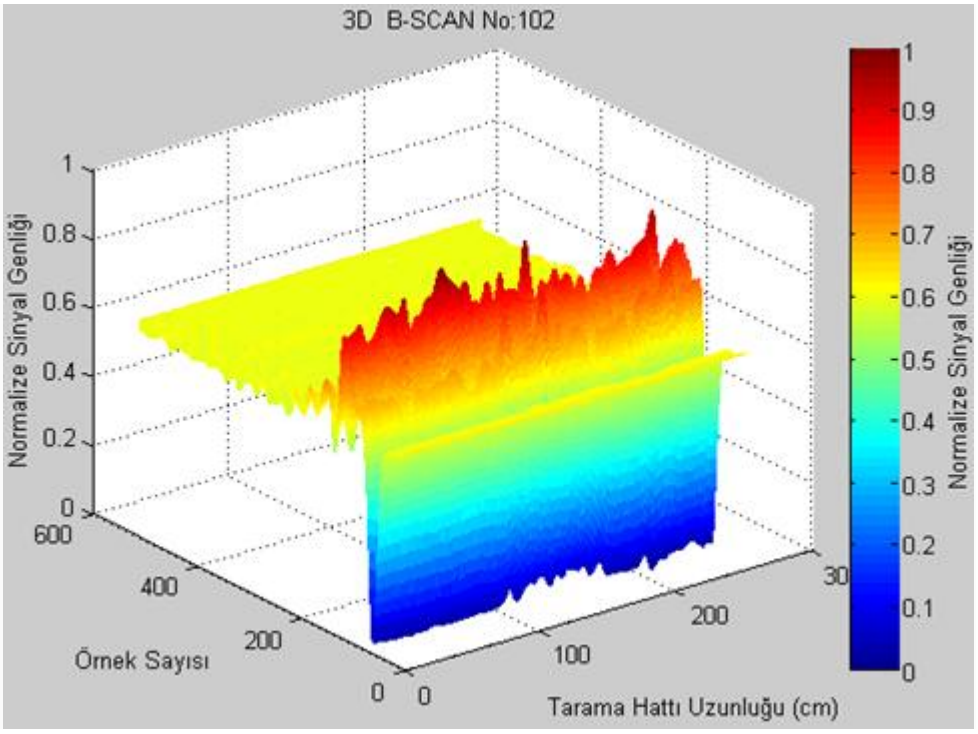
- **A-Tarama (A-scan):** Anten sabit bir pozisyonda iken radar tarafından kaydedilen dalga formu a-tarama olarak adlandırılır.
- **B-Tarama (B-scan) :** Anteni tarama yönünde ilerlettikçe her noktada elde edilen a-taramaların yanyana eklenmesiyle oluşan iki boyutlu görüntü b-tarama olarak adlandırılır. Her bir a-tarama için sinyalin genliği farklı renklerle ya da gri tonları ile temsil edilir. B-tarama, taranan hat boyunca, yüzeyden derine doğru alınan bir dilim gibi düşünülebilir**.** B-tarama görüntü radargram olarak da adlandırılmaktadır [22]. Şekil 2.3'te tezde kullanılan radargram gösterilmektedir. Şekil2.3'te yatay eksen tarama hattı uzunluğunu belirtmektedir.

- Her 1 cm'de bir tarama yapıldığı için radargram 251 a-taramadan oluşmuştur. Dikey eksen ise her bir a-tarama için kaydedilen 512 ayrı frekans noktasını belirtmektedir. Dikey eksen; bazı grafiklerde derinlik, bazılarında ise zaman olarak da ifade edilebilmektedir. B-tarama verisindeki renkler ise belirli bir zaman diliminde belirli bir a-tarama için kaydedilen sinyalin genliğini temsil etmektedir. Genlik bilgisi, ayrı bir boyut ile ifade edilerek b-taramaya ait üç boyutlu görüntü, hedefin ve kargaşanın daha iyi gözlenmesi için kullanılabilir. Şekil 2.4'te, Şekil 2.3'teki radargramın üç boyutlu gösterimi verilmişir.

    - **C-Tarama (C-scan):** İki boyutlu b- tarama verilerin yanyana eklenmesiyle elde edilen taramalardır. Hedef tespiti için c-tarama veri üç boyutlu olarak kullanılabildiği gibi, c-taramadan belirli derinliğe göre elde edilen yatay 2-boyutlu veriler de kullanılabilir [22].



Şekil 2.3 : Örnek bir radargram.



Şekil 2.4 : Radargramın üç boyutlu görünümü.

2.2 Kargaşa Bastırma Teknikleri

2.2.1 Ortalama ve medyan çıkarma

B-tarama radargramda her bir satırın ortalaması alınıp çıkarılarak arka plan kargaşa büyük oranda azaltılır. Özellikle elektromanyetik dalgaların yüzeyden yansımasıyla radargramda oluşan düz hat, bu yöntemle etkin şekilde giderilebilir. B-tarama data, boyutları MxN olan X_{Ij} dikdörtgen matrisi ile temsil edilsin (i =1, 2,… ,M; j = 1, 2,… ,N). Bu durumda **(2.1)** ile ortalama çıkarma işlemi uygulanabilir [5].

$$X_{ij} = A_{ij}\frac{1}{J}\sum_{j=1}^{N} A_{ij} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Ortalama çıkarma metodundan farklı olarak, B-tarama radargramda her bir satırın medyanı alınıp çıkarılarak da arka plan kargaşası büyük oranda azaltılır [6].

2.2.2 Tekil değer ayrışımı

Tekil değer ayrışımı (SVD: Singular Value Decompostion) sinyal ve görüntü işleme alanında gürültü giderme, bilginin geri kazanımı, bilgi sıkıştırma ve örüntü tespiti gbi amaçlar için kullanılan bir yöntemdir [10], [11]. Tekil değer ayrışımı ile veri, gürültü

ve sinyal olmak üzere birbirini tamamlayan alt uzaylara ayrılarak işaret – gürültü oranı artırılır.

Tekil değer ayrışımı ile kargaşa bastırımı için, B-tarama data, boyutları MxN olan X_{IJ} dikdörtgen matrisi ile temsil edilsin (i =1, 2,… ,M; j = 1, 2,… ,N). i zaman ya da uzaklık indeksini belirtirken, j anten pozisyon indeksini temsil etmektedir. Ayrık uzaklık indeksi anten indeksinden büyüktür, dolayısıyla M ≥ N olduğuvarsayılacaktır. X'in tekil değer ayrışımı **(2.2)** ile gösterilmektedir.

$$X = USV^T \tag{2.2}$$

U(MxM) üniter matris ve V(NxN) matrisi, X matrisinin birimdik özelliklerini tutan matrislerdir. S matrisi ise bir köşegen matrisi olup (diagonal matrix) tekil değerleri (singular values) tutmaktadır. S= diag($\sigma_1, \sigma_2, \ldots \sigma_r$) ve $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \ldots \geq \sigma_r \geq 0$. U ve V matrislerinin sütunları sırasıyla sol ve sağ tekil vektör olarak adlandırılırmaktadır. Temel olarak U ve V $\{XX^T\}$ ve $\{X^TX\}$'nin özvektörleridir. R=N<M için tekil değer ayrışımı **(2.3)** ve **(2.4)** eşitlikleri ile ifade edilmektedir.

$$X = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i u_i v_i^T \tag{2.3}$$

$$X = M_1 + M_2 + M_3 + \cdots + M_N \tag{2.4}$$

(2.4). denklemde yer alan ve boyutları X matrisi ile aynı olan M_i matrisi, X matrisinin i. öz görüntüsü olarak adlandırılmaktadır. X matrisi sırasıyla sinyal ve kargaşa olmak üzere iki alt uzaya ayrıştırılmaktadır.

$$X = X_{hedef} + X_{kargaşa} = \sum_{i=1}^{k} \sigma_i u_i v_i^T + \sum_{i=k+1}^{N} \sigma_i u_i v_i^T \tag{2.5}$$

Tekil değer ayrışımı tekniğinin radargrama uygulanmasından ve eşitlik **(2.3)** te belirtildiği gibi elde edilen bütün öz görüntülerin analizinden sonra birinci öz görüntünün (M_1) kargaşa bilgisi taşıdığı, ikinci öz görüntünün ise (M_2) hedef bilgisi taşıdığı, kalan öz görüntülerin ise gürültüyü temsil ettiği gözlenmiştir.

B-tarama data olan X üç parçaya ayrılabilir:

$$X = M_t + M_c + M_n \quad \textbf{(2.6)}$$

M_t, M_c , M_n sırasıyla; hedef, arkaplan kargaşası ve gürültü görüntüleri olarak belirtilmektedir. Kargaşa **(2.7).** , hedef **(2.8).** ve gürültü **(2.9).** denklemi ile elde edilmektedir

$$M_c = M_1 = \sigma_1 \times u_1 \times v_1^T \quad \textbf{(2.7)}$$

$$M_t = M_2 = \sigma_2 \times u_2 \times v_2^T \quad \textbf{(2.8)}$$

$$M_n = \sum_{i=3}^{N} \sigma_i \, u_i \, v_i^T \quad \textbf{(2.9)}$$

2.2.3 Temel bileşen analizi

Temel bileşen analizi (PCA: Principal Component Analysis), verinin bileşenleri arasındaki yüksek korelasyonu temel alarak ayırma işlemi gerçekleştirir. Verinin, yüksek korelasyonlu bileşenler içermesi durumunda temel bileşen analizi yönteminin doğruluğu artmaktadır. Kalan korelasyonsuz bileşenler ise kolaylıkla kaldırılmaktadır. Temel bileşen analizi; sinyal işleme, veri sıkıştırma, veri görüntüleme, görüntü analizi ve örüntü tanıma gibi birçok alanda kullanılmaktadır [12,13].

Temel bileşen analizi ile kargaşa bastırmak için, B-tarama data boyutları MxN olan X_{ij} dikdörtgen matrisi ile temsil edilsin (i =1, 2,… ,M; j = 1, 2,… ,N). i zaman ya da uzaklık indeksini belirtirken, j anten pozisyon indeksini temsil etmektedir. N temel bileşen denklem **(2.10)** ile belirtilmektedir.

$$Y = A^T X \quad \textbf{(2.10)}$$

Denklemde X=$[x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ sıfır ortalamalı giriş vektörüdür. Y=$[y_1, y_2, y_3, \dots, y_n]^T$ temel bileşen vektörü olarak adlandırılan çıkış vektörüdür. A ise X matrisinden Y matrisinin elde edilmesini sağlayan MxN boyutlu bir matristir.

Temel bileşen analizinin amacı, datanın sahip olduğu birbiri ile korelasyonu yüksek olan değişkenleri, birbiri ile ilişkili olmayan sıfır ortalamalı ve daha az boyutlu değişkenlere (temel bileşenlere) ayırmaktır.

Aynı zamanda orjinal veri korelasyonsuz temel bileşenlerden çok az bilgi kaybı ile tekrar elde edilmektedir. Temel bileşen analizinin ana mantığı ${y_1}^T, {y_2}^T, {y_3}^T, \dots, {y_n}^T$ çıkış vektörlerinin satırlarını bulmaktır [8]. Temel bileşen analizi A'nın birimdik matris olduğunu varsayar ($A_i^T \,.\, A_j = \delta_{ij}$) öyle ki Y'nin kovaryans matrisi C_y köşegen matristir.

A, kovaryans matris kullanılarak hesaplanabilir. X, normalize edilmiş ve ortalaması çıkarılmış data matrisi olarak ele alınırsa, X matrisinin kovaryans matrisi denklem **(2.11)** ile ifade edilmektedir.

$$C_x = \frac{1}{N} X X^T \tag{2.11}$$

C_x matrisinin öz vektör ($\phi\Lambda$) ve öz değer vektörü (Λ) denklem **(2.12)** ile hesaplanmaktadır.

$$C_x \phi = \Lambda \phi \Lambda \tag{2.12}$$

(2.12)'de $\Lambda = \mathrm{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N)$ ve $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ öz değerlerdir. Öz değerler azalarak sıralandıktan sonra, N öz vektörden oluşan A, eşitlik **(2.13)** ile gösterilmektedir.

$$A = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_N] \tag{2.13}$$

Temel bileşen matrisi S ise eşitlik **(2.14)** ile ifade edilmektedir.

$$S = A^T X \tag{2.14}$$

Temel bileşen analizi tekniği ile hedef tespiti için eşitlik **(2.14)** kullanılmaktadır. Bu işlem, büyük oranda hedef bilgisini taşıyan bileşenlerin seçilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Temel bileşenlerin hesaplanmasından sonra hedef, A ve S matrislerinin ikinci sütunları kullanılarak elde edilmektedir [9]. Genellikle birinci öz görüntü kargaşayı temsil eder. Hedefi içeren radargram eşitlik **(2.15)** ile elde edilmektedir.

$$X_{kargaşa} = A_2^T S_2 \tag{2.15}$$

2.2.4 Bağımsız bileşen analizi

Bağımsız Bileşen Analizi (ICA: Independent Component Analysis), çok değişkenli bir veri kümesinde doğrusal ve ortogonal olan koordinat sisteminin bulunmasını sağlayan bir metottur. Bağımsız bileşen analizi, verinin koordinat sistemi üzerindeki izdüşümlerini birbirinden bağımsız hale getirir ve aralarındaki ilişkiyi minimum seviyeye düşürür [23]. Bağımsız Bileşen Analizi'nin amacı; kaynaklar arasındaki ilişkiyi azaltan doğrusal dönüşüm yapmaktır. Fastica, Jade, Infomax gibi bu amaç için kullanılan çeşitli algoritmalar vardır [23].

Bağımsız bileşen analizi yöntemi, kaynaklar arasındaki istatistiksel bağımlılığı minimuma düşürecek "W" matrisini bulmayı amaçlar.

Bağımsız bileşen analizi ile kargaşa bastırmak için, B-tarama data, boyutları MxN olan X_{ij} dikdörtgen matrisi ile temsil edilsin (i =1, 2,… ,M; j = 1, 2,… ,N). i zaman ya da uzaklık indeksini belirtirken, j anten pozisyon indeksini temsil etmektedir. Bağımsız bileşen analizi bütün x_i'lerin; s_j'lerin lineer kombinasyonu olduğunu varsayar. Bu kabul eşitlik **(2.16)** ile belirtilmektedir.

$$x_i = \sum_{j=1}^{N} a_{ij} s_j \qquad \textbf{(2.16)}$$

j=1,2,3,…,N

Eşitlik **(2.17)** de matris notasyonu verilmiştir.

$$X = AS \qquad \textbf{(2.17)}$$

Eşitlik **(2.17)** de A, MxN boyutlarında karıştırma matrisidir. S ise N bağımsız kaynak sinyalini N örnek olarak satırlarında tutan matristir.

Bağımsız bileşen analizinde amaç, gözlem vektörü kullanılarak bilinmeyen karıştırma matrisi ve kaynak vektörlerinin kestirilmesidir [24-25]. X matrisinin bağımsız bileşenleri tam derece ayrıştırma matrisi olan W'nin bulunması ile elde edilir. Hedef sinyalin kestirimi eşitlik **(2.18)**'de belirtilmiştir.

$$\hat{s}_i = y_j = \sum_{i=1}^{N} w_{ji} x_i \qquad \textbf{(2.18)}$$

$$\hat{S} = Y = WX \qquad \longrightarrow \quad W = A^{-1} \tag{2.19}$$

Eşitlik **(2.19)**'da W, NxM boyutlarında ayrıştırma matrisidir. Ayrıştırma matrisi, bağımlı sensör sinyali x'in lineer dönüşümünden mümkün olduğu kadar bağımsız $\hat{S}$ sinyali üretmeye yarar.

Bağımsız bileşen analizi iki adımda gerçekleştirilir:

Birinci adım, y'nin bileşenleri arasındaki istatistiksel bağımsızlığının seviyesini kestiren kontrast fonksiyonu G(y)'yi formüle etmek; ikinci adım ise bağımsız bileşenlerin hesaplanmasını sağlayacak kontrast fonksiyonunu optimize etmektir. Kontrast fonksiyonu; y'nin komponentleri arasındaki istatistiksel bağımsızlığın derecesini kestirirken, kontrast fonksiyonunun optimizasyonu bağımsız bileşenlerin elde edilmesini sağlar. Bağımsız bileşen analizini uygulamak için birkaç ön işlem gereklidir. En temel ön işlem, merkezleme işlemidir. Merkezleme işleminde verinin ortalama değeri verideki bütün elemanlardan çıkarılmaktadır. Bu işlem sonunda ölçüm verisi sıfır ortalamalı hale getirilmiş olunur. İkinci ön işlem ise beyazlatma işlemidir. Beyazlatma işleminde ölçüm vektörüne doğrusal bi dönüşüm uygulanarak, bileşenleri ilişkisiz ve varyansları bire eşit olan yeni bir Ẋ vektörü elde edilir. Elde edilen Ẋ vektörünün kovaryans matrisi birim matrise eşittir.

Bu çalışmada ayrıştırma matrisi W'yi hesaplamak için, sabit noktalı iterasyon tabanlı FASTICA [25] algoritması kullanılmıştır. Ayrıştırma matrisi W hesaplandıktan sonra, karıştırma matrisi A, W'nin tersi alınarak eşitlik **(2.20)**'deki gibi hesaplanır.

$$A = W^{-1} \tag{2.20}$$

Karıştırma matrisi de hesaplandığı için ona karşı düşen bağımsız bileşen S matrisi, eşitlik **(2.19)** kullanılarak hesaplanır.

Gözlem verisine bağımsız bileşen analizi uygulandıktan sonra kaynak sayısı ya da A-tarama sayısı kadar bağımsız bileşen elde edilir [8]. Bağımsız bileşen matrisi olan S'nin satırları ve A matrisinin sütunları ele alınarak eşitlik **(2.21)** ile yeni görüntü elde edilir.

$$X_{hedef} = A_{hedef} S_{hedef} \tag{2.21}$$

2.2.5 Dalgacık dönüşümü

Dalgacık Dönüşüm Algorritması, farklı boyutlu pencereleme yöntemidir. 1982'de Jean Morlet tarafından geliştirilen dalgacık dönüşüm algoritması, sinyali farklı frekans değerleri için farklı çözünürlükte inceleyen bir yöntemdir [26].

Dalgacık dönüşüm algoritmasının avantajlarını daha iyi belirtmek adına Fourier Dönüşümü ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü'nden bahsedilecek olunursa: Fransız bilim adamı Jean Baptise Joseph Fourier (1768-1830), işareti sinüzoidal bileşenlerine ayrırarak Fourier Analizi'ni bulmuştur. Fourier Dönüşümü ile zaman ekseninden frekans eksenine geçilerek işaretin genliği frekans aralıklarına göre incelenmektedir. Fourier Dönüşümü formülü eşitlik **(2.22)**' de belirtildiği gibidir:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, e^{-jwt} dt \qquad \textbf{(2.22)}$$

Formülde: j=$\sqrt{-1}$, t zaman ve ω frekans değişkenidir.

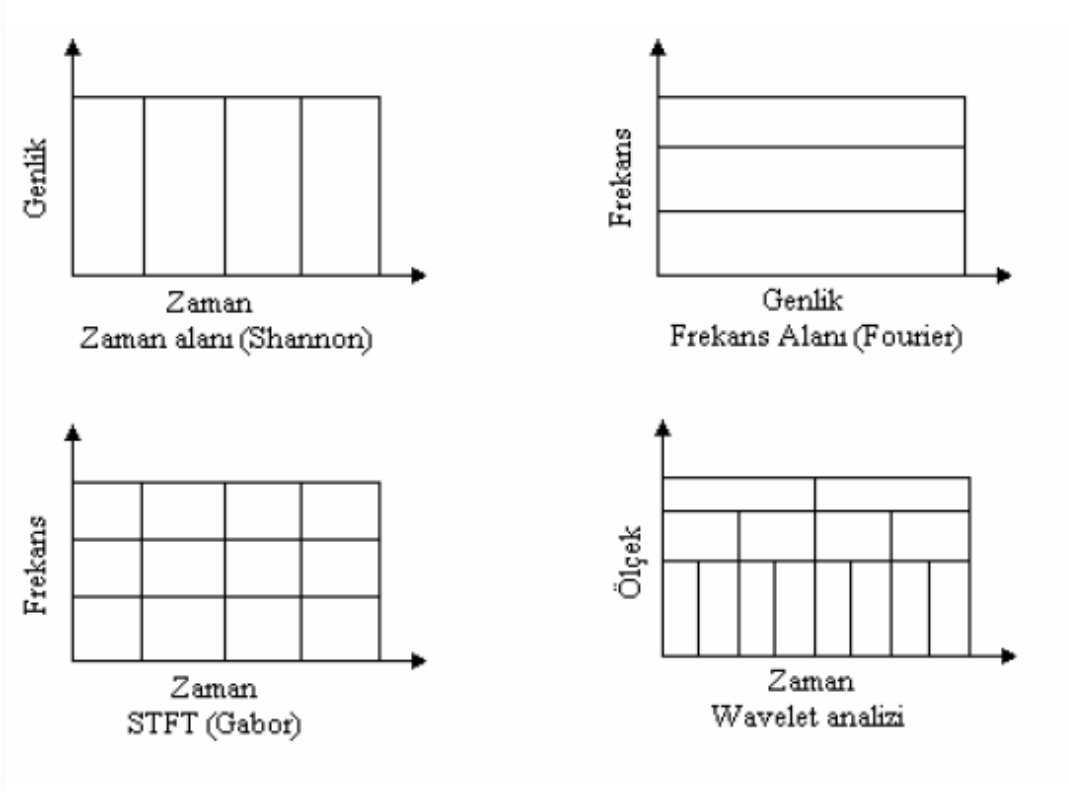
Frekans bilgisi zamanla değişmeyen (durağan) işaretler için Fourier Dönüşümü uygun bir yöntem iken, frekans bilgisi zamanla değişen (durağan olmayan) işaretler için uygun bir yöntem değildir. Çünkü bu yöntem frekans bileşeninin hangi zaman aralığına denk geldiği hakkında bilgi vermez. Bu eksiklikten dolayı Dennis Gabor (1946), işareti küçük parçalara ayırıp (pencereleme yöntemi ile bölütlerine ayırmak) inceleyerek Fourier Dönüşümü'nün eksikliğini gidermeye çalışmıştır. Bu yönteme, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT: Short-Time Fourier Transform) denir ve işareti zaman ve frekans ortamında inceler [26]. Bu yöntem, bir olayın ne zaman ve hangi frekansta olduğu hakkında bilgi verse de zaman ortamındaki pencerenin boyutu değiştirilirken frekans ortamındaki pencerenin sabit kalması yöntemin eksikliğidir ve pencere boyutunun zaman veya frekans ekseninde değişebildiği daha esnek bir yöntem gerekmektedir. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşüm denklemi aşağıdaki gibidir:

$$KZFD(\tau, f) = \int f(t) g * (t - \tau) e^{-2j\pi f t} dt \qquad \textbf{(2.23)}$$

Eşitlik **(2.23)'** te g(t) pencere fonksiyonu, (*) kompleks eşlenik ve f(t) orjinal işarettir.

KZFD yönteminde eşit çözünürlükte incelenen spektral bileşenler, Dalgacık Dönüşümü yönteminde farklı çözünürlükte de analiz edilmektedir. Bu yaklaşıma çoklu çözünürlük analizi denilmektedir. Değişen pencere boyutları ile düşük frekans bilgisine ulaşılmak istendiği zaman uzun zaman aralığı seçilebildiği gibi, yüksek frekans bilgilerine ulaşmak için kısa zaman aralıkları seçilebilir. Dalgacık Dönüşümü Analizi'nde işaret zaman- frekans ekseninde değil de zaman-ölçek eksenlerinde incelendiği için, küçük bir süreksizliğe sahip işaretin dalgacık katsayıları çizdirilerek süreksizliğin nerede olduğunun tam olarak tespiti mümkündür.

Şekil 2.5'te zaman tabanlı (Shannon), frekans tabanlı (Fourier), KZFD (Gabor) ve dalgacık dönüşümlerinin grafikleri gösterilmektedir [19].



Şekil 2.5 : Sinyal işleme tekniklerine ait grafikler.

Dalgacık dönüşümünün başlıca uygulama alanları, gürültü azaltma (işaretin veya görüntünün gürültüden temizlenmesi) ve sıkıştırmadır. Ayrıca, ani değişimlerin olduğu işaretlerdeki değişimlerin yakalanması için de bu yöntem kullanılır [19].

2.2.5.1 Sürekli dalgacık dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü (CWT: Continious Wavelet Transform), işaretin ana dalgacık fonksiyonunun ölçeklendirilmiş ve ötelenmiş haliyle çarpılıp tüm zaman boyunca toplanmasından elde edilir [16].

$$C(\text{ölçek}, konum) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi(\text{ölçek}, \text{konum})\text{dt} \qquad \textbf{(2.24)}$$

Eşitlik **(2.24)**'teki C'ler, ölçek ve konuma bağlı bulunan dalgacık dönüşümü katsayılardır.

Düşük ölçeklerde dalgacık daralır ve ani değişimler (yüksek frekanslar) yakalanırken yüksek ölçeklerde ise dalgacık genişleyerek düşük frekanslar yakalanır [16].

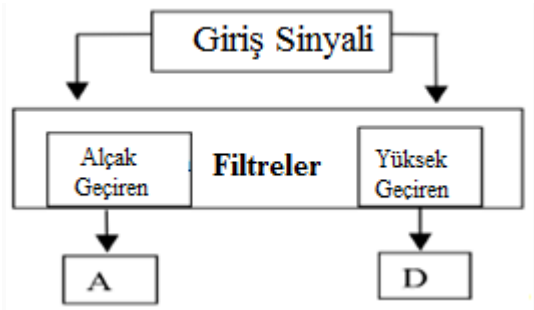
Sürekli dalgacık dönüşümü, bilgisayarda hesaplanırken ayrık olarak işlenir. Ancak, ayrık dalgacık dönüşümünden farkı ölçeğin ve kaymanın sürekli olmasıdır.

2.2.5.2 Ayrık dalgacık dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümündeki işlem ve veri kapasitesi çok büyük olduğu için işlem verimliliğini arttırmak amacıyla konum ve ölçeklerin ikili kuvvetleri alınır ve bu işleme Ayrık Dalgacık Dönüşümü (DWT: Discrete Wavelet Transform) denir. Sürekli dalgacık dönüşümünün her τ öteleme değeri ve her a ölçek değeri için hesaplama gerektirdiği göz önünde bulundurulursa, gereksiz işlemden kaçınmak amacıyla τ ve a değerleri ayrıştırılarak sürekli dalgacık dönüşümünden ayrık dalgacık dönüşümüne geçiş sağlanmaktadır [16].

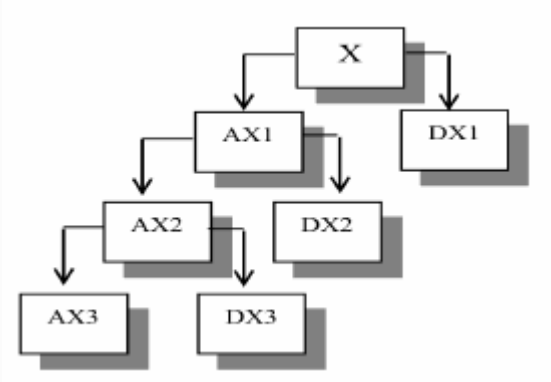
Ayrık dalgacık dönüşümü Mallat tarafından 1988 yılında filtreler kullanılarak geliştirilmiştir. Birçok işaret için, işarete ait bilgi büyük oranda düşük frekanslı bileşenlerde tutulur. Yüksek frekanslı bileşenlerde ise ayrıntı, bazen de gürültüyü temsil eden detay bilgi tutulmaktadır. Örneğin insan sesinden, yüksek frekansların çıkarılması durumunda seste değişim olmasına rağmen kişinin ne söylediği hala anlaşılabilmekteyken, düşük frekanslar çıkarıldığında anlamsız bir ses duyulması; yüksek ve düşük frekansların içerdiği bilgi ile ilgili aydınlatıcı olabilir [16].

Şekil 2.6'da Ayrık Dalgacık Dönüşümü'nün 1 seviye için, filtrelerle gerçeklenmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Ayrık Dalgacık Dönüşümü'nün bir seviye için gerçeklenmesi.

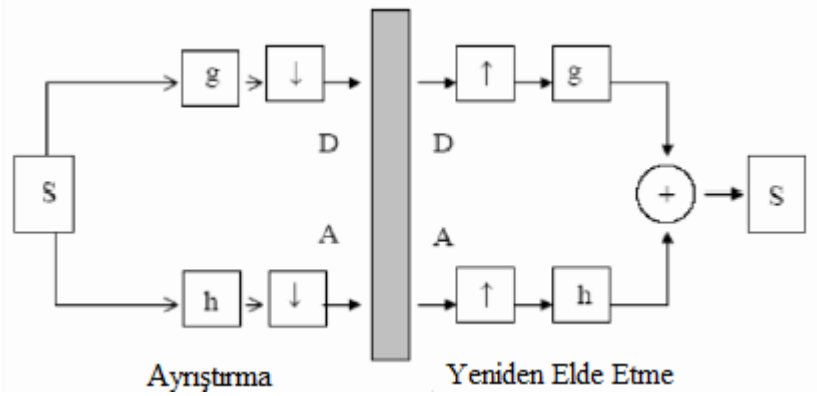
Şekil 2.6'da, sinyalin yüksek geçiren ve alçak geçiren olmak üzere tamamlayıcı iki filtreden geçirilmesiyle, sinyal uzunluğu yarıya düşmüş dikgen iki bileşen elde edilmektedir. Alçak geçiren filtrenin çıkışı sinyalin yaklaşık bileşenlerini içerirken, yüksek geçiren filtrenin çıkışı ayrıntı bileşenlerini içermektedir. Bu iki filtre çıkışındaki veriler kesişmemekle beraber, kaybolmamaktadır da. Aynı zamanda giriş sinyali bu iki filtre çıkışından tekrar elde edilebilir [27]. Elde edilen yaklaşık bileşenine aynı işlem uygulanarak kullanıcı tarafından belirlenen ölçeğe kadar dönüşüm işlemi uygulanabilir ve sinyal birçok çözünürlükte bileşenlere ayrılabilir. Şekil 2.7'de dalgacık ayrışım işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Üç seviye Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Şekil 2.7' deki X sinyali DX1, DX2, AX3 ve DX3 bileşenlerinden oluşmaktadır.

Şekil 2.8'de ise 1 seviye için sinyalin ayrışım ve yeniden elde edilme işlemine ait şema gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Bir seviye için alt örnekleme-ayrışım ve üst örnekleme-yeniden elde etme işlemi

Şekil 2.8'de S:Sinyal, g:Alçak geçiren filtre, h:Yüksek geçiren filtredir. Her seviyede yüksek geçiren filtre detay (D) bilgiyi oluştururken, alçak geçiren filtre yaklaşık (A) bilgiyi oluşturmaktadır.

Dalgacık dönüşümü yönteminde yüksek dereceli istatistikler kullanılarak kargaşa bastırılması

Gözlenen data olan, x(n) eşitlik **(2.24)** ile ifade edilirse:

$$x(n) = t(n) + e(n) \tag{2.24}$$

Eşitlik **(2.24)** 'te t(n) hedef, e(n) ise kargaşayı temsil etmektedir. Ayrık dalgacık dönüşümü ile elde edilen dalgacık bileşenleri aşağıdaki eşitlik **(2.25)** ile elde edilir.

$$WP_{j,s}^{x}(i) = WP_{j,s}^{t}(i) + WP_{j,s}^{e}(i) \tag{2.25}$$

$WP_{j,s}^{x}(i), WP_{j,s}^{t}(i)$ ve $WP_{j,s}^{e}(i)$ sırasıyla gözlem datası, kargaşa ve gürültüye ait dalgacık dönüşüm bileşenleridir.

Eşitlik (2.25)'te; j=1,2,…,J dalgacık dönüşüm seviye sayısı, s=1,2, …,2j skala sayısı, N=Sinyal uzunluğu ve M=N/2j dir.

Hedef sinyal, yüksek mertebeden istatistik bilgileri temel alınarak dalgacık paket dönüşümü bileşenlerinin eşiklenmesi ile elde edilebilir [19].

Yüksek dereceli istatistik

Gaussal olmayan rastgele süreçlerle yapılan işlemlerde, yüksek dereceli moment kavramları, kümülant ve yüksek dereceli istatistik olarak adlandırılan çoklu tayflar çok büyük bir öneme sahiptir.

Eğer x(n), n =0, $\pm1, \pm2, \pm3, ..$ gerçek, durağan ve ayrık zamanlı bir sinyal ise ve bu sinyalin p. dereceye kadar momenti varsa, sinyalin p. dereceden momenti eşitlik **(2.26)** ile gösterilmektedir ve bütün i değerleri için sadece zaman değişimine $(\tau_1, \tau_2, \ldots\ \tau_{p-1} \quad \tau_i = 0, \pm1, \pm2, \pm3, ..$ bağlıdır.

$$m_p(\tau_1, \tau_2, \ldots\ \tau_{p-1}) = E\{x(n)x(n+\ \tau_1) \ldots . x(n+\tau_{p-1})\} \qquad \textbf{(2.26)}$$

(2.26) eşitliğinde E{.} deterministik sinyal için beklenen değeri ifade etmektedir. Ayrıca sinyal sıfır ortalamaya sahipse bu durumda kümülant fonksiyonu (üçüncü dereceye kadar) eşitlik **(2.27)** ve eşitlik **(2.28)**'deki gibi olmaktadır.

İkinci dereceden kümülant:

$$C_2(\tau_1) = \ m_2(\tau_1) \qquad \textbf{(2.27)}$$

Üçüncü dereceden kümülant:

$$C_3(\tau_1, \tau_2) = \ m_3(\tau_1, \tau_2) \qquad \textbf{(2.28)}$$

Eşitlik **(2.27)** ve eşitlik **(2.28)**'deki bütün gecikmelerin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilen varyans ve çarpıklık; sırasyıyla eşitlik **(2.29)** ve eşitlik **(2.30)** ile ifade edilmektedir.

Varyans:

$$\gamma_2 = C_2(0) = \ E\{x^2(n)\} \qquad \textbf{(2.29)}$$

Çarpıklık:

$$\gamma_3 = C_3(0,0) = \ E\{x^3(n)\} \qquad \textbf{(2.30)}$$

Sonlu sayıdaki kayıttan yüksek dereceli istatistik değerlerini kestirirken; birim varyansa sahip olmak için, giriş datasının normalize edilerek tahmin edicilerin varyansının düşürülmesi, tahmin edicileri hesapmalaya göre daha önceliklidir.

Eşdeğer işlem olarak üçüncü dereceden istatistikler data varyansının uygun gücü tarafından normalize edilerek eşitlik **(2.31)**'deki normalize çarpıklık değeri elde edilir [19].

$$S = \frac{C_3(0,0)}{[C_2(0)]^{1.5}} = \frac{E\{x^3(n)\}}{[E\{x^2(n)\}]^{1.5}} \quad \textbf{(2.31)}$$

Yüksek dereceli istatistik ile kargaşa giderme

B-tarama veride hedefin tespit edilebilmesi için temel işlem, veriye dalgacık dönüşümü uyguladıktan sonra sadece hedef bileşenleri saklamaktır. Bu işlem uygun eşik değerinin altında olan bütün bileşenleri sıfıra eşitleme işlemi ile gerçekleştirlir ve gürültünün giderilmesi için oldukça önemli bir aşamadır.

B-tarama radargramın eşitlik **(2.24)**'te belirtildiği gibi gürültü ve hedeften oluştuğu göz önünde bulundurularak, gürültünün beyaz gauss gürültü olduğu varsayılırsa, dalgacık bileşenlerine gauss testi uygulanarak bütün gaussal bileşenler sıfıra eşitlenir [19].

Gauss Testi

Gauss testinde gürültünün beyaz gauss olduğu ve gürültü ile hedefin stokastik olarak bağımsız olduğu kabul edilmiştir.

Gözlenen veriye ait çarpıklık değeri eşitlik **(2.32)**'deki gibi verilmiştir:

$$S(x) = S(b) + S(t) \quad \textbf{(2.32)}$$

S(b) ve S(t), sırasıyla kargaşaya ve hedefe ait çarpıklık değeridir.

Dalgacık dönüşümü işleminden sonra da gözlenen verinin bileşenleri, gürültü ve hedefe ait bileşenlerden oluşmakta idi. Hedefi ortaya çıkarmak için yapılacak işlem ise hedefe ait bileşenleri direkt olarak tespit etmek yerine, gürültüye ait bileşenleri yüksek dereceli istatistiksel yöntemleri temel alarak tespit etmek yoluyla yok etmektir. Eğer gürültü durağan ise bileşenleri de durağan olarak kalır.

Gauss testi için kullanılacak parametre olan çarpıklık, üçüncü dereceden kümülantın normalize halidir.

Gauss sürecinin çarpıklık değeri sıfıra eşittir. Kargaşa bastırmak için bütün gaussal dalgacık bileşenleri sıfıra eşitlenir.

Uygulanacak olan gauss testinde üçüncü dereceden kümülant olan çarpıklık değeri temel alınmıştır. Bu işlemde olasılık dağılım fonksiyonu örneğe uydurulurken, parametreler örnek momentlerin dağılımdaki teorik momentlere eşitlenmesiyle kestirilir [19].

Bu çalışmada kullanılan örnek, sınırlı sayıda olduğu için çarpıklık değeri tam olarak elde edilemeyebilir. Bundan dolayı örneklerin çarpıklık değerlerine ait ortalamasının beklenen değeri kullanılabilir. Bu değer eşitlik **(2.33)**'te belirtilmektedir.

$$\hat{S} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}\right)^3 \tag{2.33}$$

Eşitlik **(2.33)**'te $\hat{\mu} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$ ve $\hat{\sigma}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}$ olarak ifade edilir.

Çarpıklığın beklenen değeri belirli bir güven aralığındadır. Normal şartlarda güven aralığı olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilindiği durumda hesaplanır. Diğer taraftan Gauss dizisinin üçüncü dereceden kümülantının olasılık yoğunluk fonksiyonu analitik olarak bilinemez. Bu sorun için Bienayme – Chebyshev eşitsizliği kullanılarak beklenen değer, eşitlik **(2.34)**'te belirtildiği gibi belirli bir aralıkta kısmen tanımlanabilir.

$$Prob\left(\left|\hat{S} - E(\hat{S}) \le a\sqrt{var(\hat{S})}\right| 1 - \frac{1}{a^2}\right) \tag{2.34}$$

Sabit güven yüzdesi $a = 1/\sqrt{1-\alpha}$ denklemindeki a'ya karşılık gelmektedir. α ise resmi güven yüzdesi değeridir.

Bu durumda çarpıklık eşitlik **(2.35)**'teki aralıkta değişmektedir.

$$\pm \frac{1}{\sqrt{1-\alpha}}\sqrt{var(\hat{S})} \tag{2.35}$$

Çarpıklığa ait varyans değeri ise eşitlik **(2.36)**'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$var(\hat{S}) = \frac{1}{n}\left(\frac{\mu_6}{\mu_2^3} - 6\beta_2 + 9 + \frac{\beta_1}{4}(9\beta_2 + 35 - \frac{3\mu_5\mu_3}{\mu_2^4}\right) \tag{2.36}$$

Eşitlik **(2.36)**'da μ merkezi moment, $\beta_1 = \mu_3^2/\mu_2^3$ ve $\beta_2 = \mu_4/\mu_2^2$ dir.

Dalgacık dönüşümü ile elde edilen n gürültü bileşeninin beyaz gauss gürültüsü olduğu göz önünde bulundurlursa, üçüncü dereceden kümülantlarının varyansı eşitlik **(2.37)**'deki gibidir.

$$var(\hat{S}) = 6\sigma^6/n \tag{2.37}$$

Eşitlik **(2.37)**'de σ^6, n gürültünün varyansıdır. Çarpıklık kestiricisinin σ=1 için varyansı eşitlik (2.38)'de gösterildiği gibidir.

$$var(\hat{S}) = 6/n \tag{2.38}$$

Gauss testi için kullanalacak olan çarpıklık değeri eşitlik **(2.39)**'da gösterilen aralıkta değişmektedir.

$$\pm\frac{1}{\sqrt{1-\alpha}}\sqrt{6/n} \tag{2.39}$$

Çarpıklık değeri %90 güvenilirlikle eşitlik **(2.40)**'taki aralıkla sınırlandırılmıştır.

$$-\frac{3}{10}\sqrt{\frac{6}{n}} \leq \hat{S} \leq \frac{3}{10}\sqrt{\frac{6}{n}} \tag{2.40}$$

Genel olarak Gauss testi ile b-tarama veriden kargaşayı gidermek için aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır:

1- Gözlenen b-tarama verinin dalgacık dönüşüm bileşenleri bulunur.

2- Her bir skala için dalgacık dönüşüm bileşenlerinin çarpıklık değeri eşitlik **(2.33)** kullanılarak hesaplanır.

3- Hesaplanan çarpıklık değerlerinin eşitlik **(2.40)**'taki aralıkta olup olmadığı tespit edilir.

4- **(2.40)**'taki çarpıklık aralığında olduğu tespit edilen bileşenler kaldırılır.

5- Geriye kalan gaussal olmayan bileşenler için sert eşikleme uygulanır. Bu işlem için eşitlik **(2.41)** kullanılır.

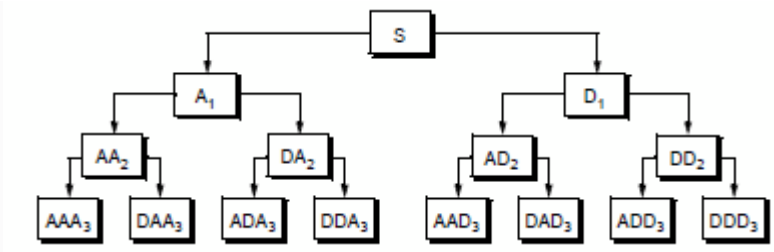
$$\delta_S = \bar{\sigma}_s\sqrt{2\log(N)} \tag{2.41}$$

(2.41)'deki eşitlikte $\bar{\sigma}_s = medyan(\left|WP_{j,s}^t\right|/0.6745$ dir.

6- Kalan bileşenlerden hedef sinyal ters dalgacık dönüşümü ile elde edilir.

2.2.5.3 Dalgacık paket dönüşümü

Dalgacık Paket Dönüşümü (WPT: Wavelet Packet Transform), Ayrık Dalgacık Dönüşümü yönteminin daha geniş bir alanda genelleştirilmesi ile gerçeklenmektedir. Ayrık dalgacık dönüşümünde her seviye için sinyalin sadece yaklaşım kısımlarına ayrışım uygulanırken, dalgacık paket dönüşümünde sinyalin hem yaklaşım hem de detay kısımlarına ayrışım uygulanmaktadır [18]. Şekil 2.9'da dalgacık paket dönüşümünün gerçeklenmesine ait şema gösterilmektedir:

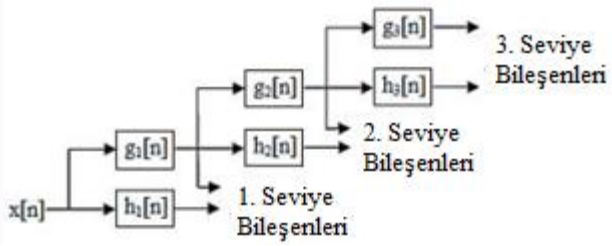


Şekil 2.9 : Dalgacık Paket Dönüşümü.

Dalgacık paket dönüşümü ile kargaşa bastırmak için b-tarama verinin her satırı için bir boyutlu dalgacık paket dönüşümü 3 seviye uygulanarak, elde edilen bileşenlere Ayrik Dalgacık Dönüşümü Bölümü'nde anlatıldığı gibi yüksek dereceli istatistik ile eşikleme yapılmıştır. Ters dalgacık paket dönüşümü ile hedefe ait b- tarama elde edilmiştir. Ayrık dalgacık dönüşümünden farklı olarak, Gauss testi detay bileşenlere de uygulanmıştır.

2.2.5.4 Durağan dalgacık dönüşümü

Durağan Dalgacık Dönüşümü (SWT: Stationary Wavelet Transform), ayrık dalgacık dönüşümünde olduğu gibi sinyalin yüksek geçiren ve alçak geçiren filtre ile filtrelenmesi temeline dayanır. Ancak ayrık dalgacık dönüşümünde her bir seviyede sinyal boyutu yarıya düşerken durağan dalgacık dönüşümünde sinyalin boyutu sabit kalır. Durağan dalgacık dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümündeki bileşenlerin, giriş işaretinin kaymasıyla beklenmeyen davranış sergilemesi üzerine geliştirilmiştir [28]. Şekil 2.10'da durağan dalgacık dönüşümünün gerçeklenmesine ait şema gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Durağan Dalgacık Dönüşümü.

Durağan Dalgacık Dönüşümü ile kargaşa bastırmak için b-tarama verinin her satırı için bir boyutlu durağan dalgacık dönüşümü 3 seviye uygulanarak, elde edilen bileşenlere ADD bölümü'nde anlatıldığı gibi yüksek dereceli istatistik ile eşikleme yapılmıştır. Ters durağan dalgacık dönüşümü ile hedefe ait b- tarama elde edilmiştir.

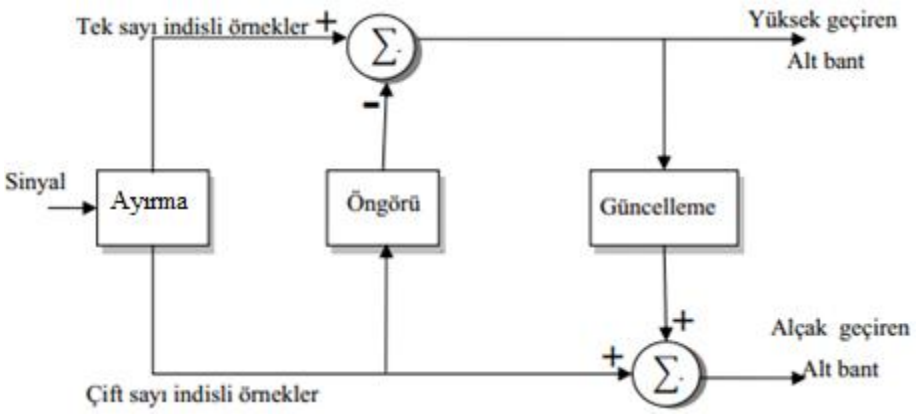
Durağan dalgacık dönüşümünde her seviyede işaret, boyutu sabit kalıp azalmadığı için ayrık dalgacık dönüşümüne göre daha fazla hesaplama ve bellek gerekirken, gürültünün azaltılması açısından daha iyi performans sergiler. Ayrıca ayrık dalgacık dönüşümünde olduğu gibi bileşen sayısı her seviyede yarıya düşmediği için giriş işaretinin boyutunun ikinin katı olması zorunluluğu yoktur [28].

3. LIFTING DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ

Lifting Dalgacık Dönüşümü (LWT:Lifting Wavelet Transform) Sweldens tarafından önerilen ve Lifting Şemaya dayanan yeni dalgacık yapısıdır [29]. Lifting şema; ayırma, öngörü ve güncelleme olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Lifting dalgacık dönüşümü uzaysal domen yöntemidir; gerçekleştirilmesi kolaydır; dünüşümün hızlı gerçekleştirilmesini sağlar; non-lineer, adaptif, düzensiz örneklenmiş ve tam sayıdan tam sayıya dönüşüm işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar, ayrıca ters dönüşümünü almak kolaydır [30,31].

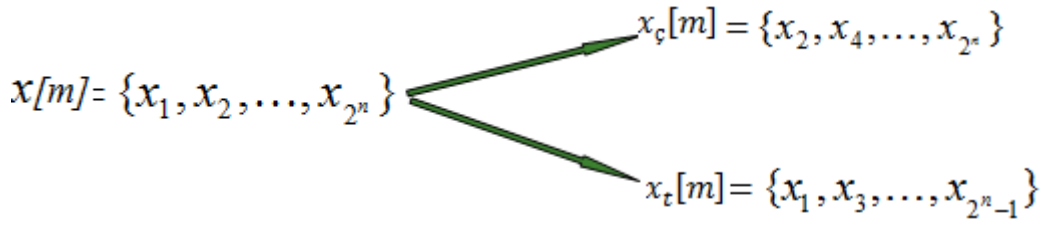
3.1 Alt Örneklemeli Lifting Dalgacık Dönüşümü

Alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümünde, iki kanal Lifting şeması sinyali iki alt banda ayırmaktadır. Bu alt bantlardan birincisi tek sayı indisli örneklerden oluşurken, ikincisi çift sayı indisli örneklerden oluşmaktadır. Lifting şeması; ayırma, öngörü ve güncelleme olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3.1' de bir boyutlu alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümüne ait şema verilmektedir.



Şekil 3.1 : Bir boyutlu alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümü şeması.

Ayırma işleminde: x[m] sinyali $x_ç[m]$=x[2m] ve $x_t[m]$=x[2m+1] olmak üzere $x_ç[m]$ ve $x_t[m]$ alt kümelerine ayrılmaktadır. Bu işlem için "Lazy Dalgacık Dönüşümü" sık kullanılan bir yöntemdir [30].



Şekil 3.2 : Alt örneklemeli Lifting dalgacık dönüşümünde ayırma işlemi

Şekil 3.2'de $x_ç[m]$ = Çift sayı indisli örnekler iken $x_t[m]$ = Tek sayı indisli örnekler dir.

Öngörü işleminde: $x_t[m]$ alt kümesi, P(.) öngörü operatörü kullanılarak $x_ç[m]$ alt kümesi üzerinden öngörülür. x[m] sinyaline ait detay bilgi ise, $x_t[m]$ alt kümesi ile öngörülen P($x_ç[m]$) arasındaki fark alınarak elde edilir. P(.) öngörü operatörü, komşu tek altkümenin doğrusal bir kombinasyonudur [30].

$$P(x_ç[m]) = \sum_i \left(p_i x_ç[m+i]\right) \quad \textbf{(3.1)}$$

Eşitlik **(3.1)'**de p_i , yüksek geçiren filtre katsayılarıdır.

Sinyalin detay kısmının elde edilişine ilişkin formül, eşitlik **(3.2)**'de belirtilmektedir.

$$d_1[m] = x_t[m] - P(x_ç[m]) \quad \textbf{(3.2)}$$

Güncelleme işleminde: Sinyale ait yaklaşık bilgi, $x_ç[m]$ alt kümesi ile, U(.) güncelleme operatörüne giren detay bilginin toplanması sonucu elde edilir. U(.) güncelleme operatörü, komşu d değerlerinin doğrusal kombinasyonudur. U(.) güncelleme operatörüne ait formül , eşitlik **(3.3)**'te belirtilmektedir.

$$U(d[m]) = \sum_j \left(u_j d[m+j]\right) \quad \textbf{(3.3)}$$

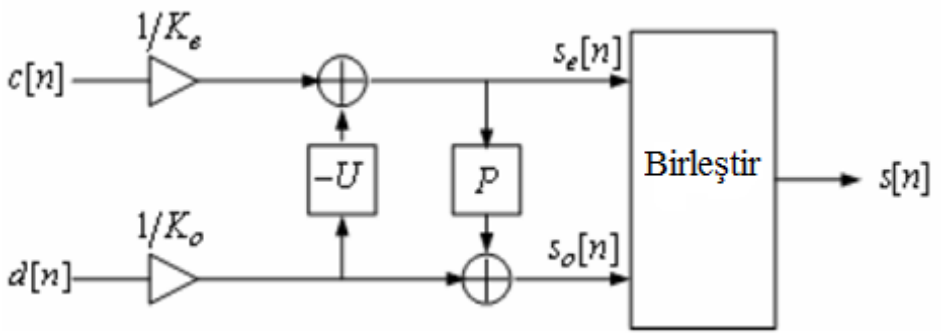
Formül **(3.3)**'te u_j , alçak geçiren filtre katsayılarıdır.

Güncelleme işlemde sinyalin alçak geçiren süzgeçten geçirilerek elde edilen yaklaşık değeri, $d_1[m]$ öngörü farkının doğrusal kombinasyonunun güncellenmesi ile elde edilir. Bu durumda $x_ç[m]$ sinyali, eşitlik **(3.4)**'te verilen $s_1[m]$ ile yer değiştirir.

Sinyalin yaklaşık kısmının elde edilmesine ilişkin formül, eşitlik **(3.4)**'te belirtilmektedir.

$$s_1[m] = x_ç[m] + U(d_1[m]) \quad \textbf{(3.4)}$$

Lifting dalgacık dönüşümünün ters dönüşümü ile orjinal sinyal elde edilebilir. Şekil 3.3'te ters Lifting dalgacık dönüşümü verilmektedir.



Şekil 3.3 : Bir boyutlu alt örneklemeli ters Lifting Dalgacık Dönüşümü.

Ters Lifting dalgacık dönüşümü aşağıdaki eşitlikler ile gerçekleştirilmektedir.

$$x_ç[m] = s_1[m] - U(d_1[m]) \quad \textbf{(3.5)}$$

$$x_t[m] = d_1[m] + P(x_ç[m]) \quad \textbf{(3.6)}$$

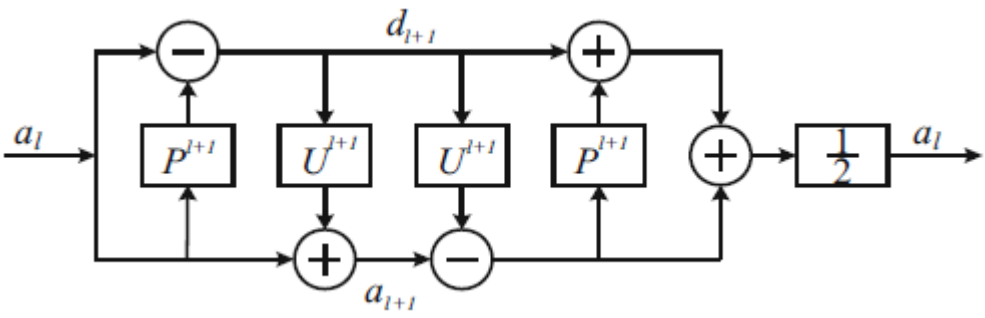
$$x[m] = \text{Birleştir}\{x_ç[m], x_t[m]\} \quad \textbf{(3.7)}$$

Alt Örneklemeli Lifting Dalgacık Dönüşümü'nde, sinyalin uzunluğu bir alt seviyeye inerken yarıya düştüğü için spektral örtüşme meydana gelmektedir. Ters dönüşüm işlemi sırasında bu sorun kısmen azaltılsa da tam olarak yok edilememektedir. Spektral örtüşmeden kaynaklanan sorundan dolayı her seviyede sinyal uzunluğunun sabit kaldığı, alt örneklemesiz dalgacık dönüşümü geliştirilmiştir [29].

3.2 Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü

Alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşümü; güncelleme ve öngörü olmak üzere iki kısımdan oluşur. Alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşümünde, alt örneklemeliden farklı olarak giriş sinyali tek ve çift indisli alt kümelerine ayrılmaz.

Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümüne ait dönüşüm ve ters dönüşüm işlemi Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşüm ve ters dönüşüm işlemi.

Alt Örneklemesiz (durağan) Lifting Dalgacık Dönüşümü'nde P^l ve U^l sırasıyla l levelinde öngörü ve güncelleme operatörlerini ifade etsin. Başlangıç öngörü operatörü P^0 ve başlangıç güncelleme operatörü U^0 M ve N belirlendikten sonra elde edilebilr. $P^0=\{p_m\}$, m=0,1,…,M-1; . $U^0=\{u_n\}$, n=0,1,…,N-1.dir p_m ve u_n sırasıyla öngörü ve güncelleme bileşenleri iken M ve N sırasıyla öngörü bileşenlerinin ve güncelleme bileşenlerinin uzunluğudur. P^l ve U^l ye ait bileşenler, P^0 ve U^0 'ın sıfırlarla doldurulması ile oluşturulur. Alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşümü için l. seviyede öngörü ve güncelleme bileşenleri, sırasıyla eşitlik **(3.8)** ve **(3.9)**' da belirtilmiştir [32].

$$p_i^l = p_0^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} p_1^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} p_2^0, \dots, p_{M-2}^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} p_{M-1}^0 \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$u_i^l = u_0^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} u_1^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} u_2^0, \dots, u_{N-2}^0, \underbrace{0 \dots 0}_{2^l-1} u_{N-1}^0 \qquad \textbf{(3.9)}$$

Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü ile, l. seviyede elde edilen yaklaşık sinyal a_l eşitlik **(3.10)** ile ifade edilmektedir.

$$d_{l+1} = a_l - p^{l+1}a_l \ , \qquad a_{l+1} = a_l + u^{l+1}d_{l+1} \qquad \textbf{(3.10)}$$

Eşitlik **(3.10)**'da d_{l+1} ve a_{l+1} sırasıyla a_l sinyalinin l+1. seviyedeki detay ve yaklaşık bileşenlerini ifade etmektedir.

Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü'nün ters dönüşüm işlemi doğruca, dönüşüm işleminden elde edilmiş olup eşitlik **(3.11)** ile ifade edilmiştir [32].

$$a_l = \frac{1}{2}(a_{l+1} - U^{l+1}d_{l+1} + P^{l+1}(a_{l+1} - U^{l+1}d_{l+1})) \quad \textbf{(3.11)}$$

3.3 Alt Örneklemesiz Lifting Dalgacık Dönüşümü ile Kargaşa Bastırma

Çalışmada veriye dönüşüm ve ters dönüşüm uygulanırken (4,2) Lifting şema kullanılmıştır. (4,2) Lifting şemaya ait dönüşüm formülleri eşitlik **(3.12)** ve **(3.13)** ile ifade edilirken, ters dönüşüm formülleri, sırasıyla eşitlik **(3.14)** ve **(3.15)**'te belirtilmiştir [33].

$$d_1(n) = s_0(n+1) - \frac{9[s_0(n) + s_0(n+1)] - [s_0(n-1) + s_0(n+2)]}{16} \quad \textbf{(3.12)}$$

$$s_1(n) = s_0(n) + \frac{d_1(n-1) + d_1(n)}{4} \quad \textbf{(3.13)}$$

$$s_0(n) = s_1(n) - \frac{d_1(n-1) + d_1(n)}{4} \quad \textbf{(3.14)}$$

$$s_0(n+1) = d_1(n) + \frac{9[s_0(n) + s_0(n+1)] - [s_0(n-1) + s_0(n+2)]}{16} \quad \textbf{(3.15)}$$

Yukarıdaki denklemlere göre, $s_0(n)$ giriş sinyalininin n. elemanını temsil etmektedir. $d_1(n)$, $s_0(n)$ kullanılarak birinci seviye için elde edilen detay bilgidir. $s_1(n)$ ise $s_0(n)$ ve $d_1(n)$, kullanılarak elde edilen detay bilgidir. Eşitlik **(3.12)** ve **(3.13)** kullanılarak istenilen seviyeye kadar yaklaşık ve detay bilgi elde edilebilir. Eşitlikteki ifadeye göre sinyalde mevcut olmayan elemanlar (n=1 için $s_0(n-1)$ elemanı gibi) sıfıra eşitlenerek işleme devam edilir [33].

Yüksek dereceli istatistik değerleri kullanılarak, alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşümü ile kargaşa bastırmak için aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır.

1- Gözlenen b- tarama verinin her satırına önce **(3.12)** eşitliği uygulanarak bir alt seviyenin detay bileşenleri bulunur.

2- Elde edilen detay bileşenler kullanılarak aynı veriye **(3.13)** eşitliği uygulanır ve bir alt seviye için yaklaşık bileşenler bulunur.
3- Elde edilen bileşenlerin çarpıklık değeri eşitlik **(2.33)** kullanılarak hesaplanır.
4- Hesaplanan çarpıklık değerinin eşitlik **(2.40)**'taki aralıkta olup olmadığı tespit edilir.
5- Eşitlik **(2.40)**'taki çarpıklık aralığında olduğu tespit edilen bileşenler kaldırılır.
6- Geriye kalan gaussal olmayan bileşenler için sert eşikleme uygulanır. Bu işlem için eşitlik **(2.41)**'deki formül uygulanır.

$$\delta_S = \bar{\sigma}_s\sqrt{2\log\,(N)} \qquad \textbf{(2.41)}$$

(2.41)'deki eşitlikte $\bar{\sigma}_s = medyan(\left|WP_{j,s}^{t}\right|/0.6745$

7- Kalan bileşenlerden hedef sinyal eşitlik **(3.14) ve (3.15)** kullanılarak elde edilir.

4. MATERYAL VE METOD

4.1 Kullanılan Radargram ve Özellikleri

Üçüncü bölümde anlatılan kargaşa bastırma teknikleri radargrama uygulanmış ve performans açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Radargram kum ve küçük taşların karışık olduğu arazinin taranması ile elde edilmiştir. Yeren nüfuz eden radar ile her bir nokta için (A tarama) 1GHz frekans ile eşit aralıklı olmak üzere toplam 512 ayrı frekans noktasında geri saçılma elektrik alan verisi toplanmış olup, 512x251 boyutunda B-tarama matrisleri oluşturulmuştur. Yere nüfuz eden radarın çalışma parametreleri: 25 ps, örnekleme aralığı, 512 örnek, sinyal genişliği 1ns. dir [35].

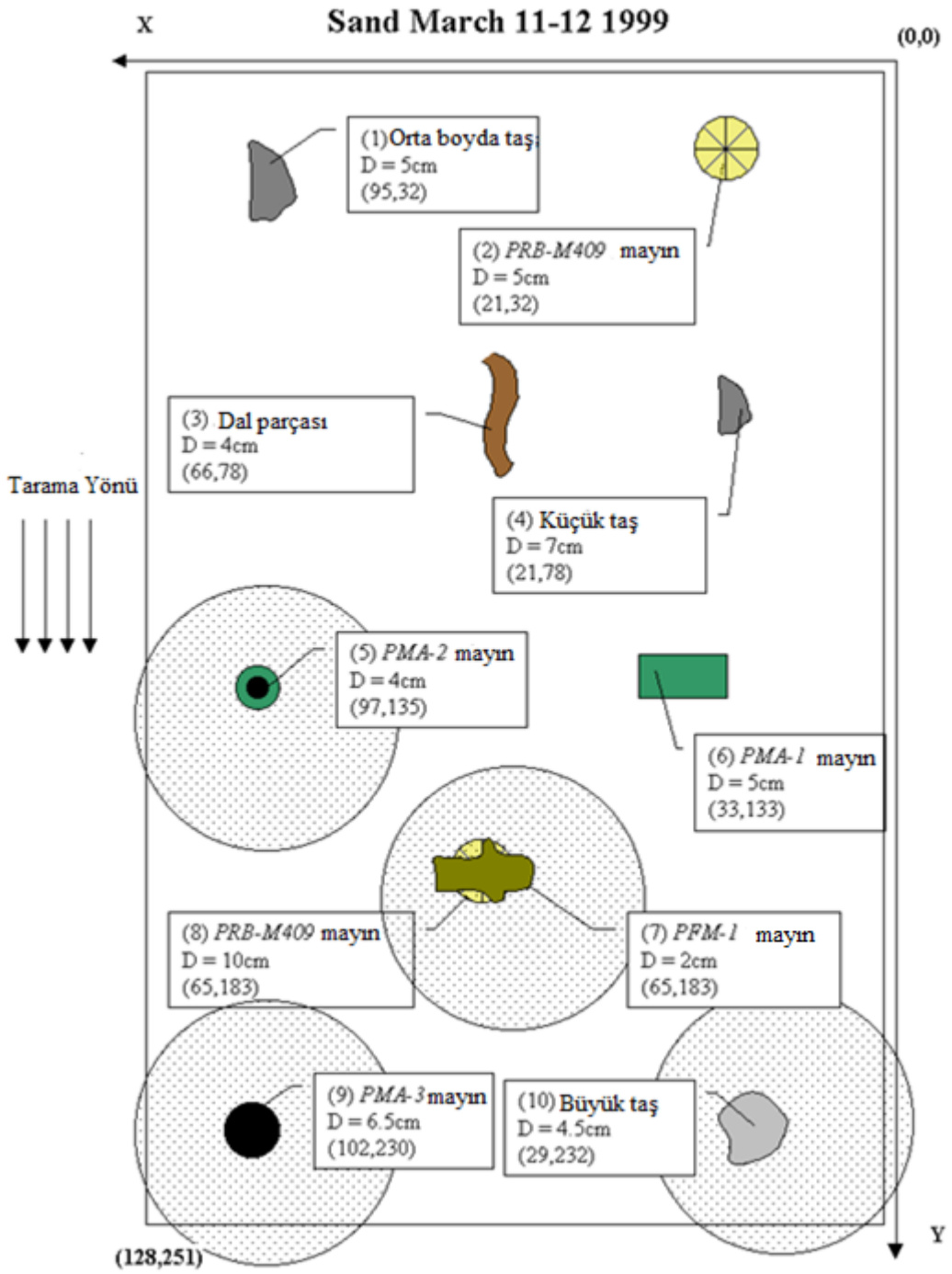
dx=128cm ve dy=251 ölçüsündeki alan, yere nüfuz eden radar tarafından her taramada kuzeyden güneye 1 cm.lik genişlik kapsanacak şekilde taranmıştır. Tarama için yüzey düzleştirilmişse de yer yer kabarıklıklar kalmıştır. Alanın yüzeyindeki düzensizlikler 0.5 cm'den küçüktür. Başarılı bir tarama için anten, arazi yüzeyine olan uzaklığı 1 cm olacak şekilde yerleştirilmiştir [34].

Kumun içine birçok obje yerleştirilmiştir. Objelerin yerleşimi ve materyal özellikleri sırasıyla Şekil 4.1'de ve Çizelge 4.1'de verilmektedir. Şekil 4.1'de gösterilen tarama yönünde her biri 512x251 boyutunda 128 adet B-tarama elde edilmiştir. Yöntemlerin performans analizi ve karşılaştırılmaları için bütün yöntemler aynı B-tarama üzerinde uygulanmıştır. Örnek seçilen, B-tarama 102. B-taramadır. Bu B-taramaya ait 2 boyutlu ve 3 boyutlu radargramlar sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

102. B-taramaya ait senaryo incelenecek olunursa:

- dy ekseninde 230. noktaya yerleştirilen mayından (9 nolu obje) dolayı radargramın 230. noktasında yansımaların gözlenmesi beklenmektedir.
- Komşu B-taramalardan gelen yansımaların da gözlenebileceği göz önünde bulundurularak; 95. B-tarama'in dy ekseninin 32. noktasına yerleştirilen taştan (1 nolu obje), kullanılan yöntemin çeşidine göre yansıma gözlenebilir.

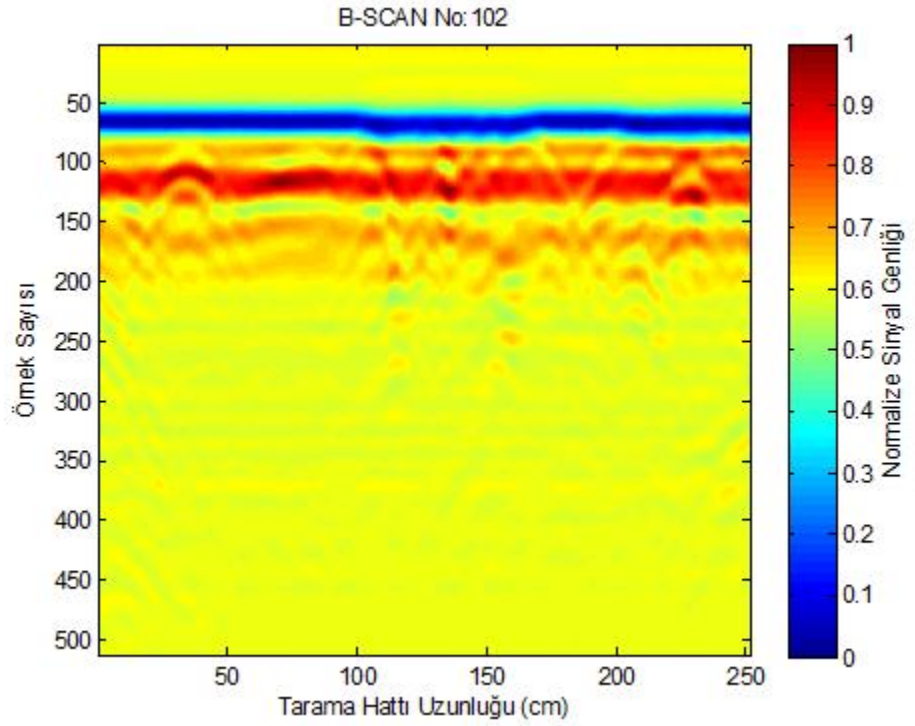
- Aynı şekilde komşu B-taramalardan gelen yansımaların da gözlenebileceği göz önünde bulundurularak; 97. B-taramanın dy ekseninin 135. noktasına yerleştirilmiş olan mayından (5 nolu obje) gelen yansımaların bir kısmının 102. radargramda gözlenmesi mümkündür.



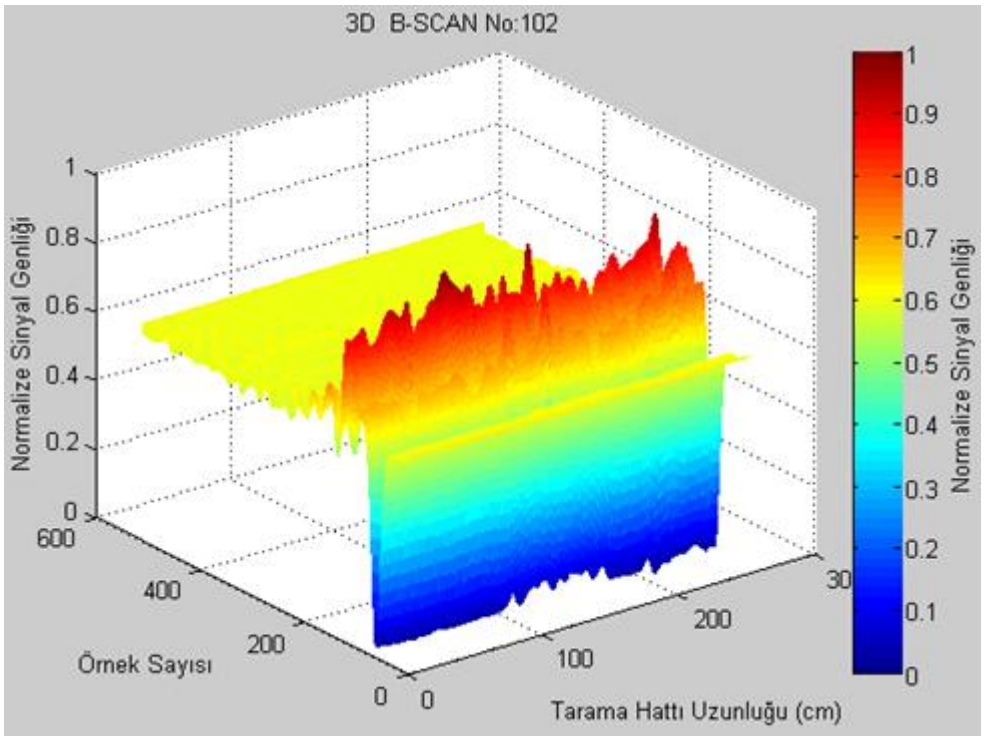
Şekil 4.1 : Senaryo planı ve objelerin yerleşimi.

Çizelge 4.1 : Senaryo planındaki gömülü cisimler.

No:	**Obje**	**Obje Boyutu**	**Açıklama**	**Derinlik (cm)**	**merkez X (cm)**	**merkez Y (cm)**
1	Orta boyda taş	Maksimum boyut:3x7x9cm	Zyönündeki en küçük boyuttur.	5	95	32
2	PRB-M409 mayın	Çap:8.5 cm, Yükseklik:3 cm	Dikey yerleştirilmiş, bilinmeyen bir materyal ile doldurulmuş	5	21	32
3	Yosunlu dal	Çap:3 cm , Uzunluk: 26 cm	Islak tahta dal	4	66	78
4	Küçük taş	Maksimum boyut: 1x6x7 cm	Z yönündek boyut en küçük boyuttur	7	21	78
5	PMA-2 mayın	Çap:7 cm, Yükseklik:3 cm	RTV ile doldurulmuş- Merkeziin yanında metal çivi var	4	97	135
6	PMA-1 mayın	Boyut:14x7x3 cm	Dikdörtgen şekil, RTV ile doldurulmuş, kenarlarda iki metal çivi var	5	33	133
7	PFM-1 mayın	Boyut:5x9 cm	Kelebek mayın, Obje 8'in hemen üzerinde8	2	65	183
8	PRB-M409 mayın	Çap 8.5 cm, Yükseklik 3 cm	Obje 7'nin hemen altında, bilinmeyen bir materyal ile doldurulmş	10	65	183
9	PMA-3 mayın	Yükseklik: 5 cm, Çap: 10 cm	RTV ile doldurulmuş Merkezin yanında küçük metal çivi var,	6.5	102	230
10	Büyük taş	Maksimum boyut: 6x7x10 cm	7 santimlik boyut Z yönünde olacak şekilde yerleştirilmiştir.	4.5	29	232



Şekil 4.2 : 102 nolu B-taramaya ait radargramın 2 boyutlu grafiği



Şekil 4.3 : 102 nolu B-taramaya ait radargramın 3 boyutlu grafiği

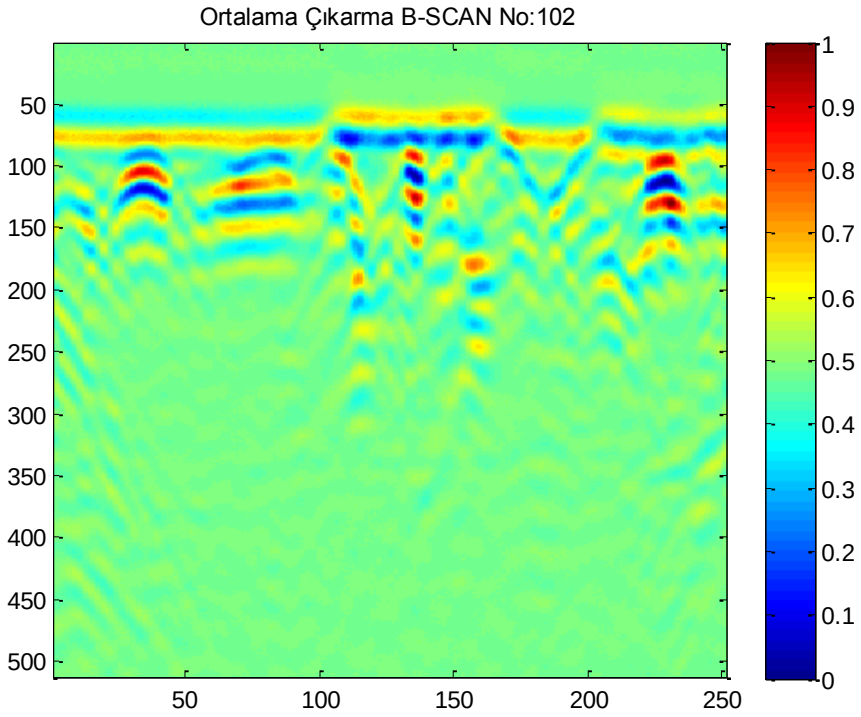
Kargaşanın bastırılması için uygulanan sinyal işleme tekniklerine ait yazılım, MATLAB R2009b yazılım paketi kullanılarak oluşturulmuş ve b-tarama veriye uygulanmıştır. Sonuçlar 4 GB RAM (Random Access Memory),çift çekirdekli 2,5 GHz i5 işlemci ve 64 bit işletim sistemine sahip diz üstü bilgisayarda alınmıştır.

(Sonuçların daha iyi karşılaştırılması için, radargram normalize edilerek genlik değerleri 0-1 arasında ölçeklenerek sunulmuştur.

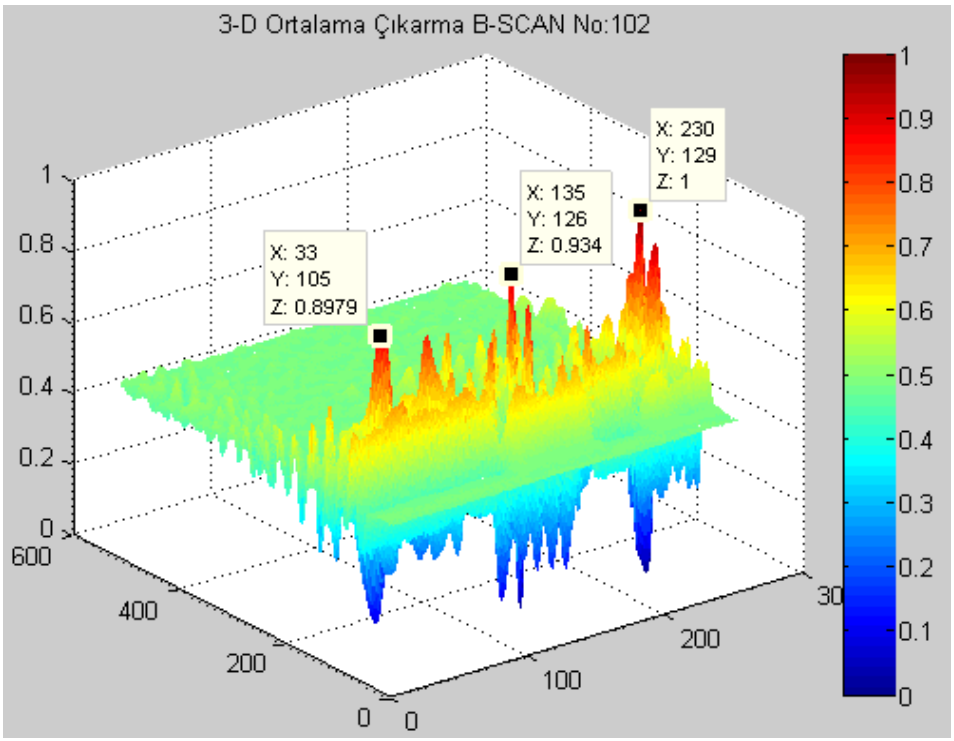
4.2 Kargaşa Bastırma Tekniklerinin Radargrama Uygulanması

4.2.1 Ortalama çıkarma

B-tarama radargramda her bir satırın ortalaması alınıp çıkarılarak arka plan kargaşanın azaldığı gözlenmektedir. Radargram için ortalama çıkarma yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçların 2-boyutlu ve 3 boyutlu gösterimi sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.4 : Ortalama çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.

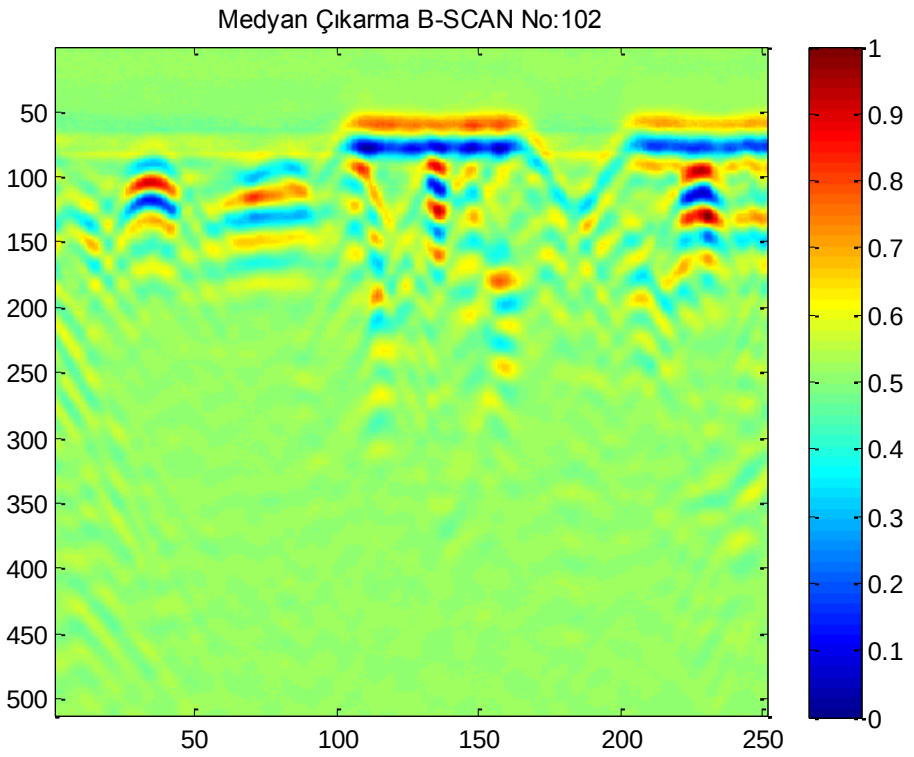


Şekil 4.5 : Ortalama çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

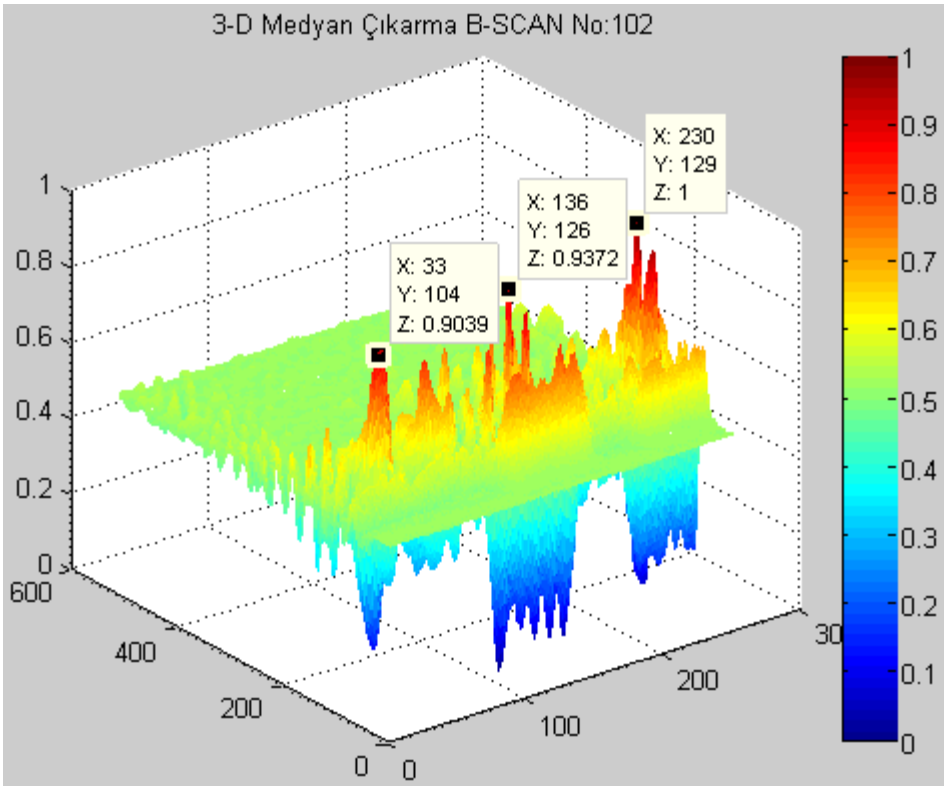
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterildiği üzere 230. noktadaki mayının yanı sıra, komşu B-taramaların 32. ve 135. noktalarından gelen yansımalar gözlense de geri plandaki düzensizlikler göz önünde bulundurulunca kargaşanın çok iyi giderilemediği söylenebilir.

4.2.2 Medyan çıkarma

B-tarama radargramda her bir satırın medyanı alınıp çıkarılarak arka plan kargaşanın azaldığı gözlenmektedir. . Radargram için medyan çıkarma yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçların 2-boyutlu ve 3 boyutlu gösterimi sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmektedir.



Şekil 4.6 : Medyan çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.



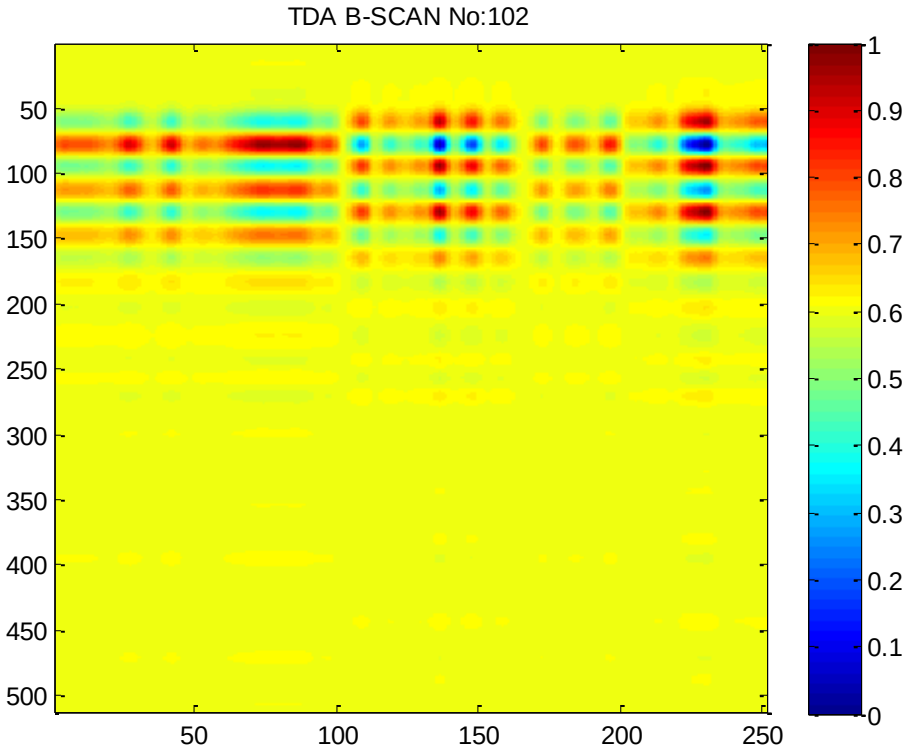
Şekil 4.7 : Medyan çıkarma yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterildiği üzere 230. noktadaki mayının yanı sıra, komşu B-taramaların 32. ve 135. noktalarından gelen yansımalar gözlense de geri plandaki düzensizlikler göz önünde bulundurulunca kargaşanın çok iyi giderilemediği söylenebilir.

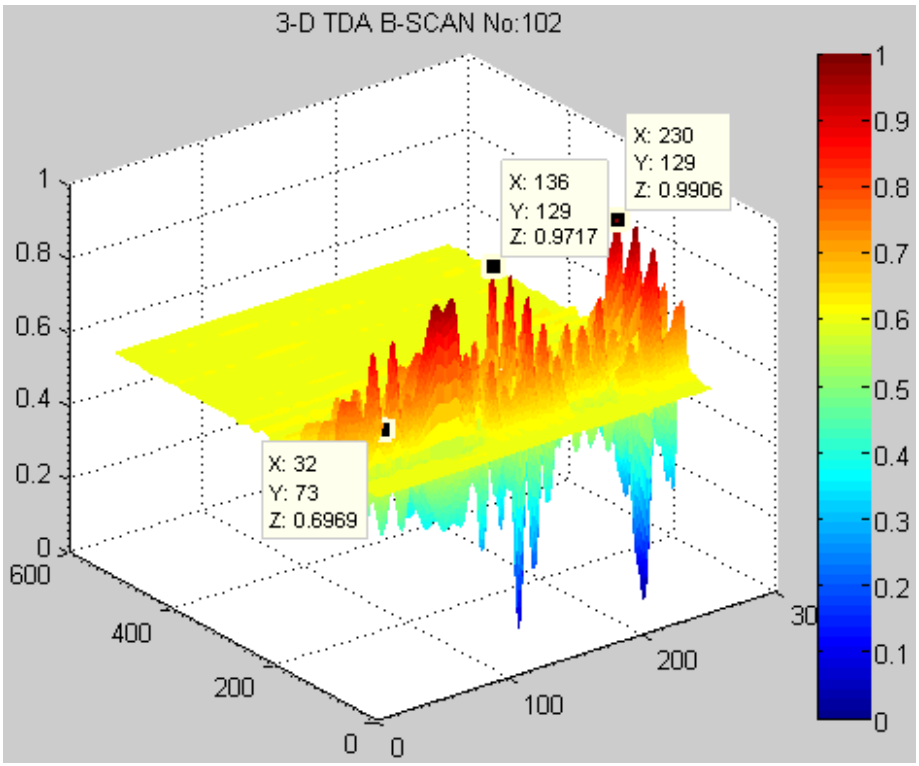
4.2.3 Tekil Değer Ayrışımı Tekniğinin radargrama uygulanması

Tekil değer ayrışımı tekniğinin radargrama uygulanmasından ve eşitlik **(3.10)** da belirtildiği gibi elde edilen bütün öz görüntülerin analizinden sonra birinci öz görüntünün (M_1) kargaşa bilgisi taşıdığı, ikinci öz görüntünün ise (M_2) hedef bilgisi taşıdığı, kalan öz görüntülerin ise gürültüyü temsil ettiği gözlenmiştir.

(2.7) eşitliğine göre elde edilen sonuçların 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümü sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



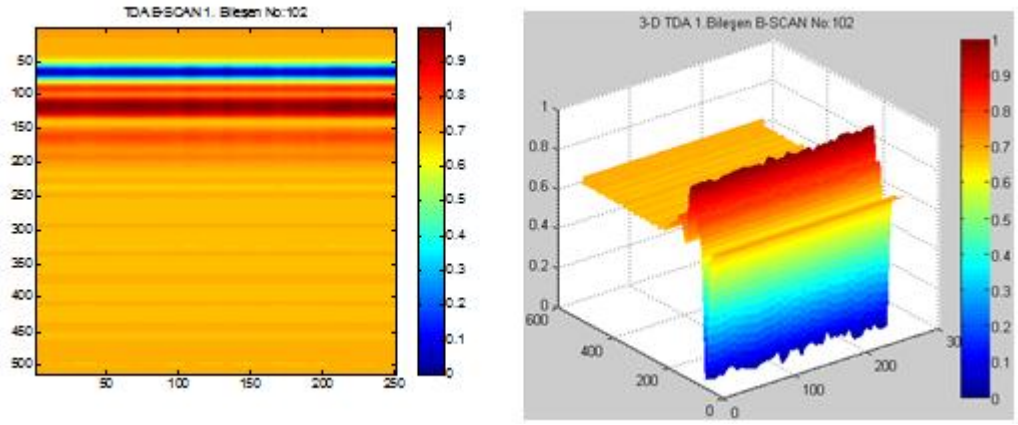
Şekil 4.8 : Tekil değer ayrışımı yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.



Şekil 4.9 : Tekil değer ayrışımı yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

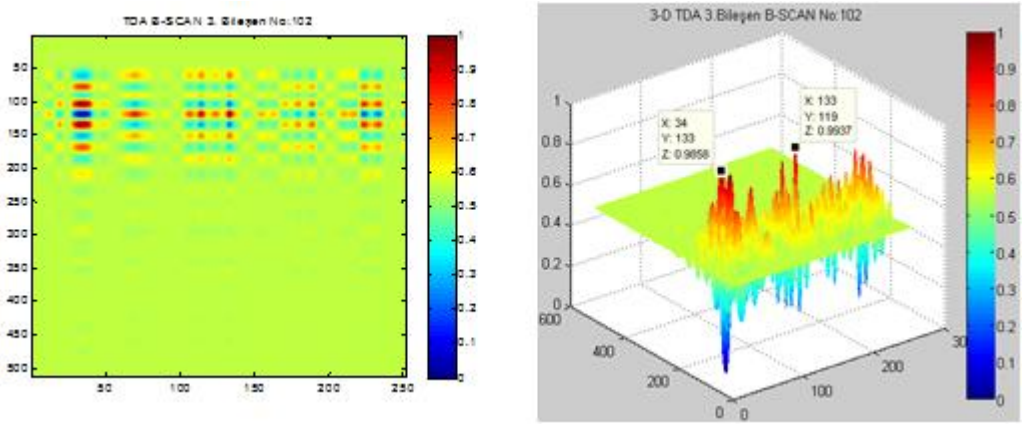
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'a göre radargramda 230. noktadaki mayından gelen yansımanın yanında, B-tarama'nın dy ekseninin 135. noktasına yerleştirilmiş olan mayından gelen yansımaların da bir kısmı gözlenmektedir. Dikkat edileceği üzere hedef bilgisi içeren ikinci bileşenden elde edilen radargramda metalik olmayan 1. objeden (taş) gelen yansımalar gözlenmemektedir.

Tekil değer ayrışımı yönteminde eşitlik **(2.7)** kullanılarak, birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşanın 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümü **Şekil 4.10'**da gösterilmektedir.



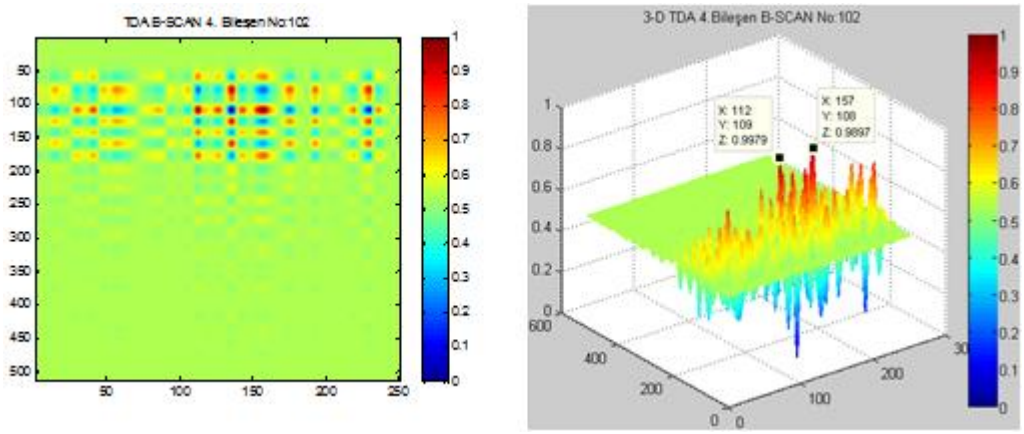
Şekil 4.10 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşası.

İkinci bileşenlerden elde edilen **Şekil 4.8** ve **Şekil 4.9**'daki görüntü hedefi belirlerken, diğer bileşenler gürültü bilgisi içeriyorlardı. **Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13**'te sırasıyla 3, 4. ve 5. bileşenlerden elde edilen hedeften bağımsız, gürültü içeren görüntüler gösterilmektedir.

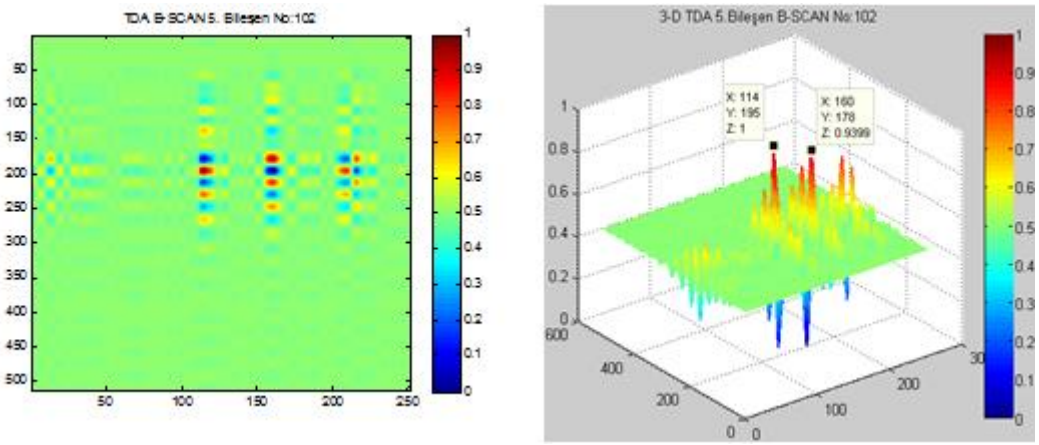


Şekil 4.11 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile üçüncü bileşenlerden elde edilen görüntü.

Diğer yöntemlerde metalik olmayan 1. nolu objeden (taş) gelen yansımalar, tekil değer ayrışımı yönteminde hedefi oluşturan ikinci bileşenlerle elde edilen görüntüde değil de, **Şekil 4.11**'de görüldüğü gibi üçüncü bileşenlerle elde edilen görüntüde gözlenmektedir.



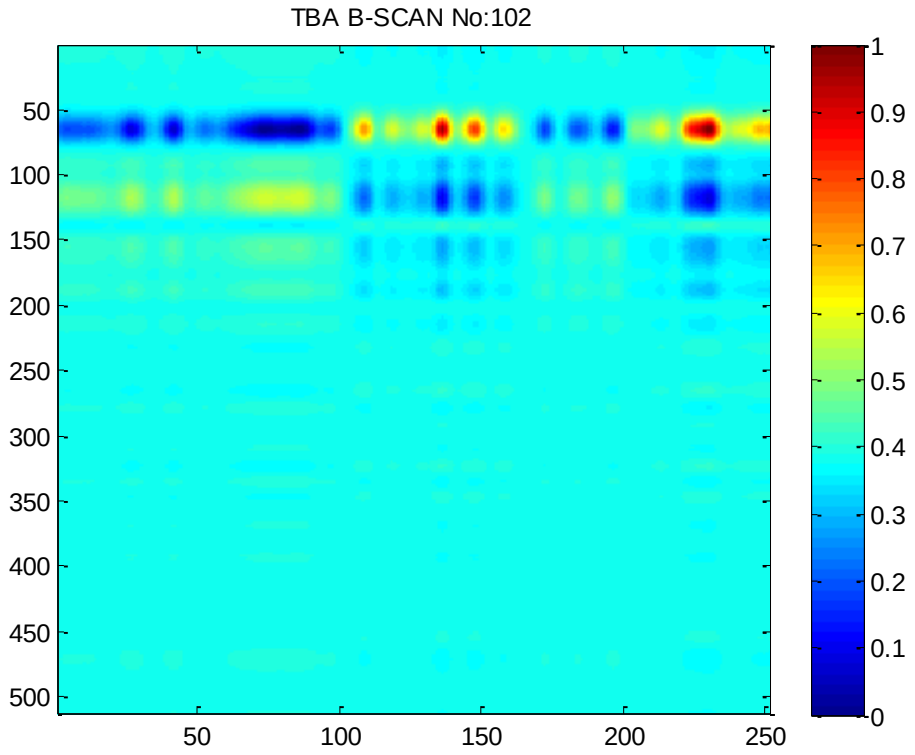
Şekil 4.12 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile dördüncü bileşenlerden elde edilen görüntü.



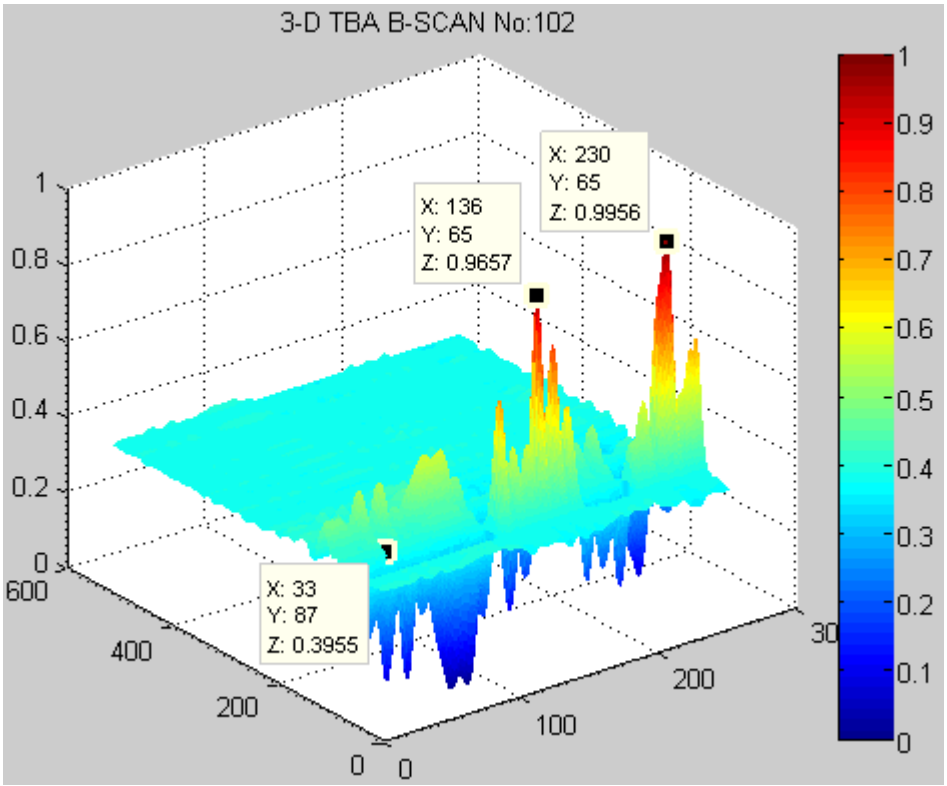
Şekil 4.13 : Tekil değer ayrışımı yöntemi ile beşinci bileşenlerden elde edilen görüntü.

4.2.4 Temel Bileşen Analizi Tekniğinin Radargrama Uygulanması

Temel bileşen analizi tekniği ile hedef tespiti için **(2.15).** eşitlik uygulanmaktadır. Bu işlem, büyük oranda hedef bilgisini taşıyan bileşenlerin seçilmesiyle gerçekleştirilmektedir. A_p 'nin kargaşayı temsil ettiği varsayılırsa temel bileşenlerin hesaplanmasından sonra hedef, A ve S matrislerinin ikinci sütunları kullanılarak elde edilmektedir. Genellikle birinci öz görüntü kargaşayı temsil eder.

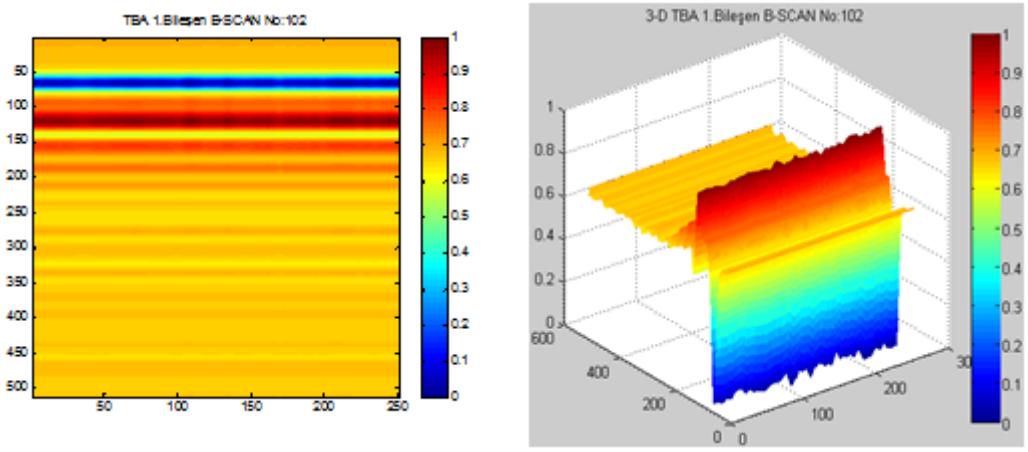


Şekil 4.14 : Temel bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.



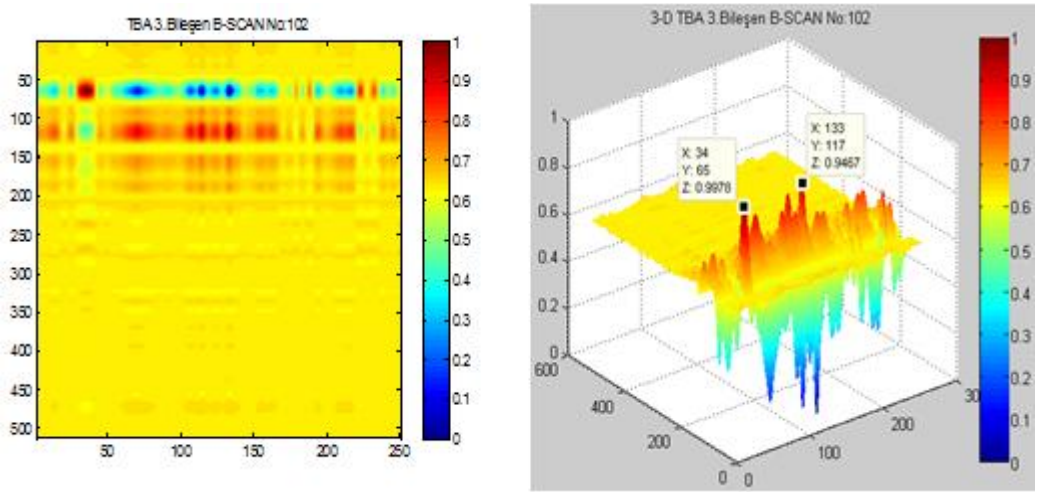
Şekil 4.15 : Temel bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'e göre radargramda 230. noktadaki mayından gelen yansımanın yanında, B-tarama'in dy ekseninin 135. noktasına yerleştirilmiş olan mayından gelen yansımaların bir kısmı da gözlenmektedir. Dikkat edileceği üzere hedef bilgisi içeren ikinci bileşenden elde edilen radargramda metalik olmayan 1. objeden (taş) gelen yansımalar gözlenmemektedir. Temel bileşen analizi yönteminde birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşanın 2 boyutlu ve 3 boyutlu görünümü Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



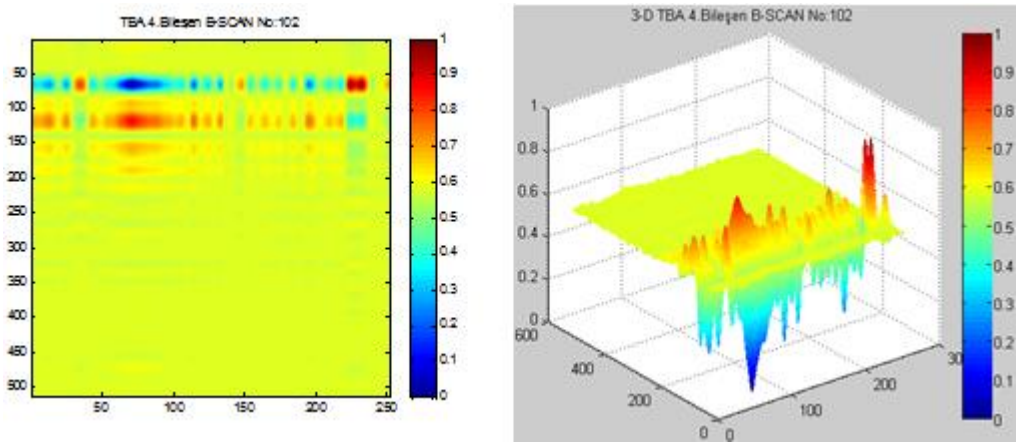
Şekil 4.16 : Temel bileşen analizi yöntemi ile birinci bileşenlerden elde edilen geri plan kargaşası.

İkinci bileşenlerden elde edilen Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'teki görüntü hedefi belirlerken diğer bileşenler gürültü bilgisi içeriyorlardı. Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'te sırasıyla 3, 4. ve 5. bileşenlerden elde edilen hedeften bağımsız, gürültü içeren görüntüler gösterilmektedir.

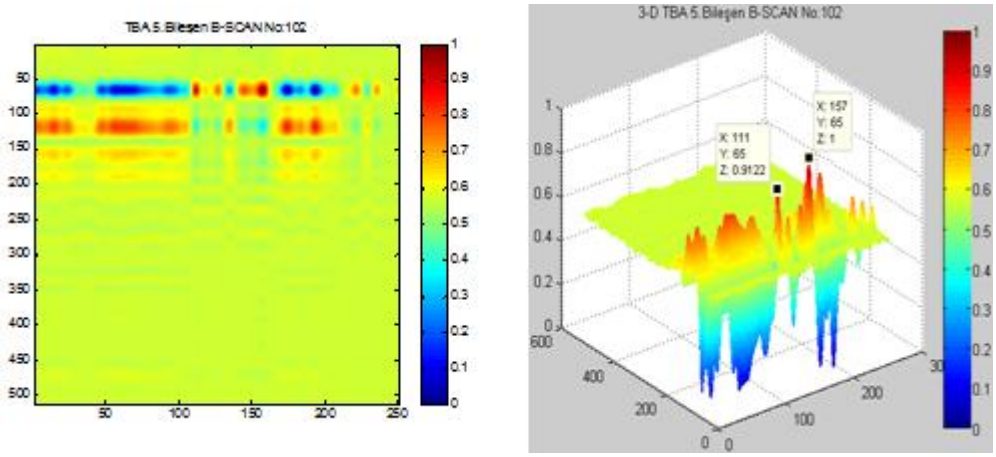


Şekil 4.17 : Temel bileşen analizi yöntemi ile üçüncü bileşenlerden elde edilen görüntü.

Diğer yöntemlerde metalik olmayan 1. nolu objeden (taş) gelen yansımalar, temel bileşen analizi yönteminde hedefi oluşturan ikinci bileşenlerle elde edilen görüntüde değil de, Şekil 4.17'de görüldüğü gibi üçüncü bileşenlerle elde edilen görüntüde gözlenmektedir.

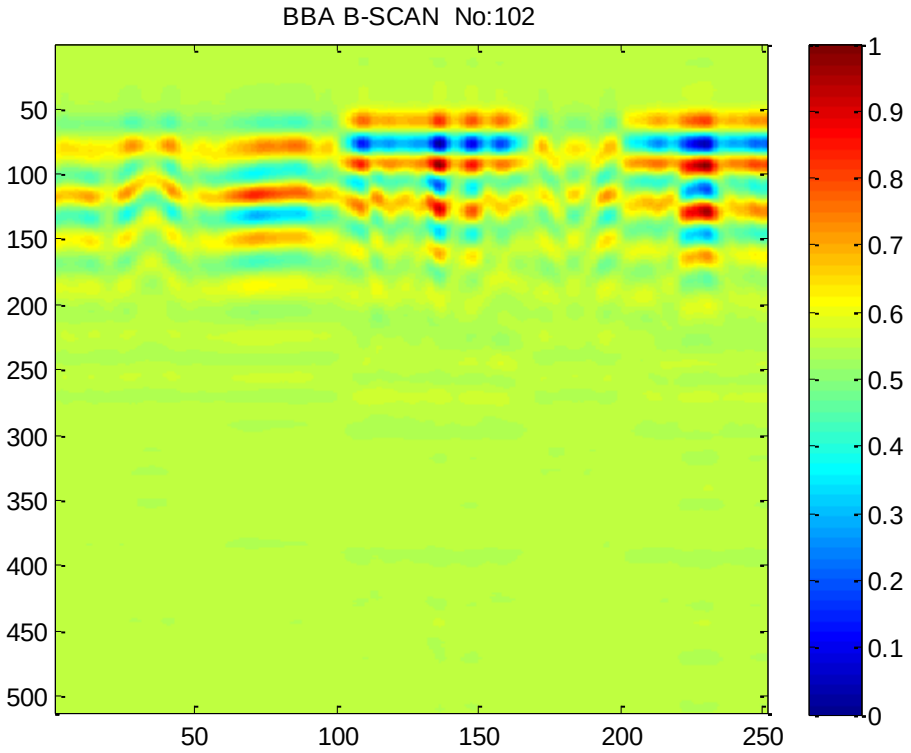


Şekil 4.18 : Temel bileşen analizi yöntemi ile dördüncü bileşenlerden elde edilen görüntü.

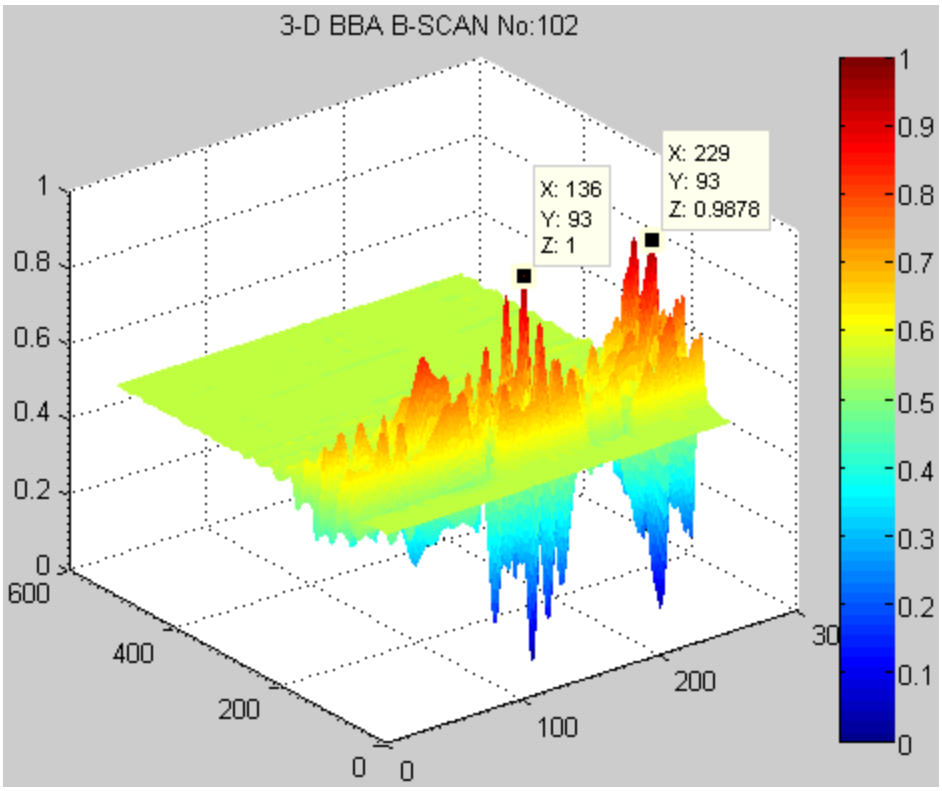


Şekil 4.19 : Temel bileşen analizi yöntemi ile beşinci bileşenlerden elde edilen görüntü.

4.2.5 Bağımsız Bileşen Analizi tekniğinin radargrama uygulanması



Şekil 4.20 : Bağımsız bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

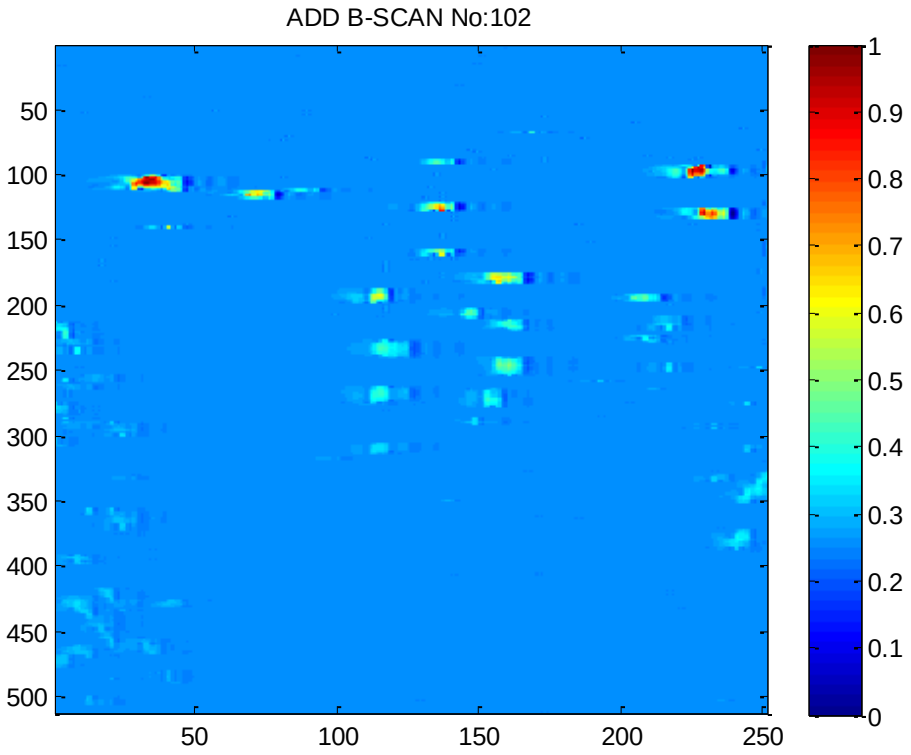


Şekil 4.21 : Bağımsız bileşen analizi yöntemi uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

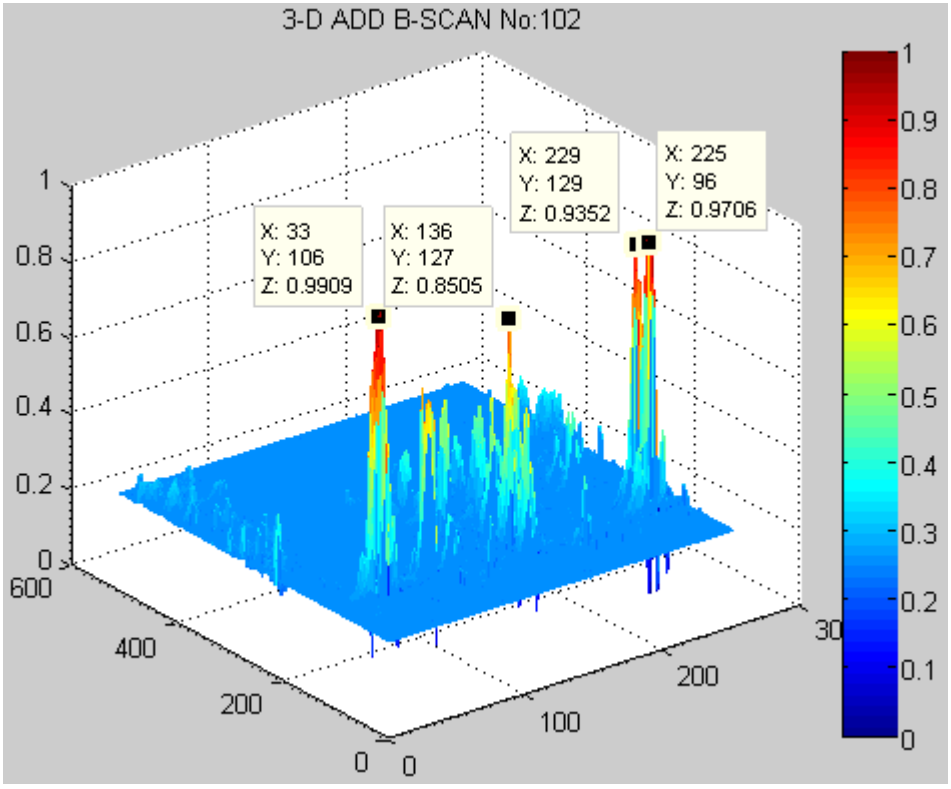
Bağımsız bileşen analizi metal olmayan hedefleri de tespit edebilmesine karşın, bağımsız bileşenler, temel bileşen analizi yöntemindeki gibi sıralı elde edilemediği için hedefin hangi görüntüde ortaya çıkacağı tam olarak kestirilememektedir. Ayrıca işlem süresi oldukça fazladır

4.2.6 Ayrık Dalgacık Dönüşümünün Radargrama Uygulanması

Ayrık dalgacık dönüşüm algoritması uygulanırken, bir boyutlu ayrık dalgacık dönüşüm algoritması radargramın her bir satırına uygulanarak gerçekleşirilmiştir



Şekil 4.22 : Ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.



Şekil 4.23 : Ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

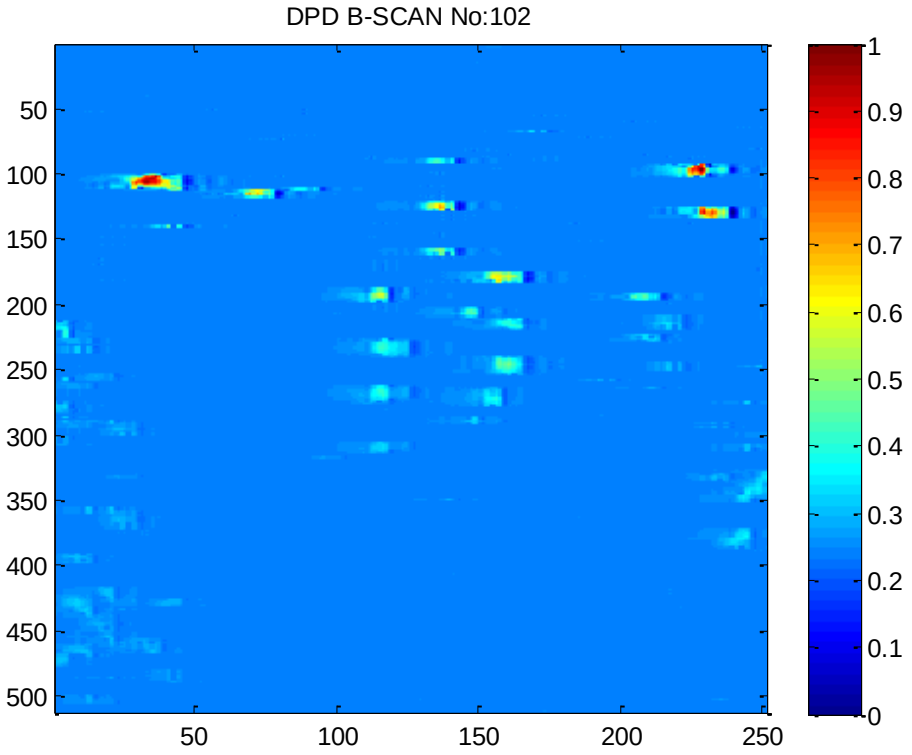
Şekil 4.23'e göre 102. radargramda 230. noktadaki mayından gelen yansımanın yanında, 95. komşu B-tarama'in dy ekseninin 32. noktasına yerleştirilen taştan ve 97.

B-tarama'nin dy ekseninin 135. noktasına yerleştirilmiş olan mayından gelen yansımaların bir kısmı da gözlenmektedir.

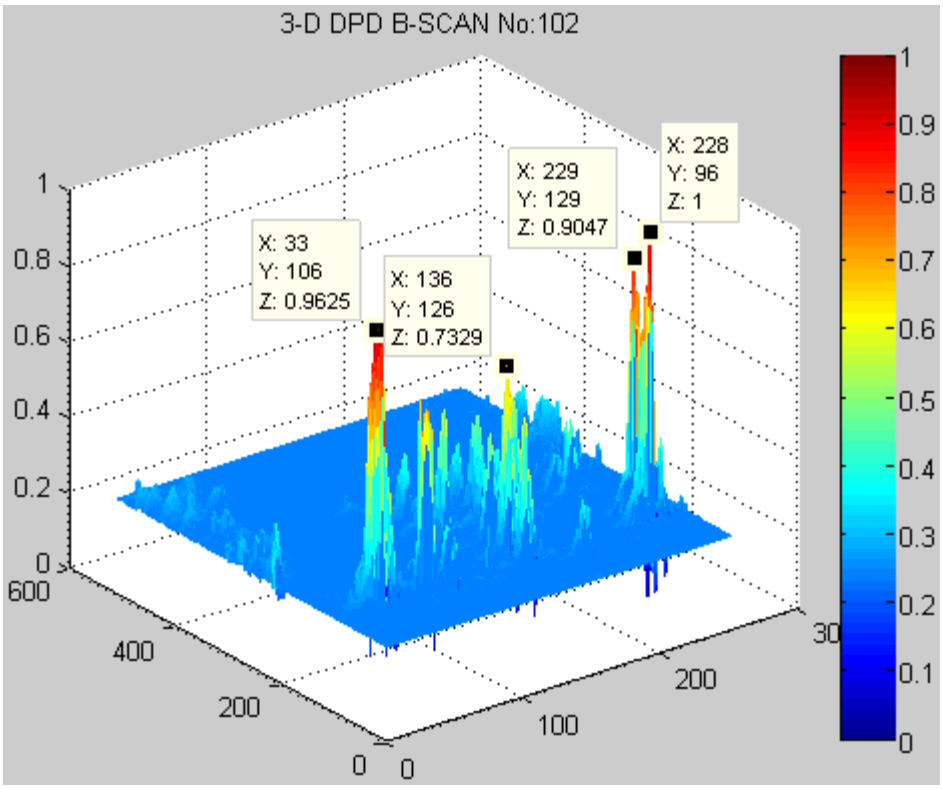
ADD her bir satıra üç seviye uygulandıktan sonra, elde edilen bileşenelere yüksek dereceli istatistik değerleri kullanılarak gauss testi yapılmış, sonrasında da sert eşikleme gerçekleştirilmiştir. Kalan bileşenlere ters dönüşüm uygulanarak hedefi içeren b- tarama elde ediliştir. **Şekil 4.23'te** de görüldüğü üzere geri plan kargaşa diğer yöntemlere göre büyük oranda giderilmiş, metalik ve metalik olmayan hedefler tek bir b- taramada elde edilmiştir.

4.2.7 Dalgacık Paket Dönüşümünün radargrama uygulanması

Dalgacık paket dönüşüm algoritması sinyalin sadece yaklaşık kısımlarına uygulanırken, bir boyutlu dalgacık paket dönüşüm algoritması radargramın her bir satırının hem yaklaşık hem detay bileşenlerine uygulanarak gerçekleşirilmiştir. DPD uygulanırken de yüksek dereceli istatistik değerleri ile gauss testi yapılmış ve sert eşikleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.24 : Dalgacık paket dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.

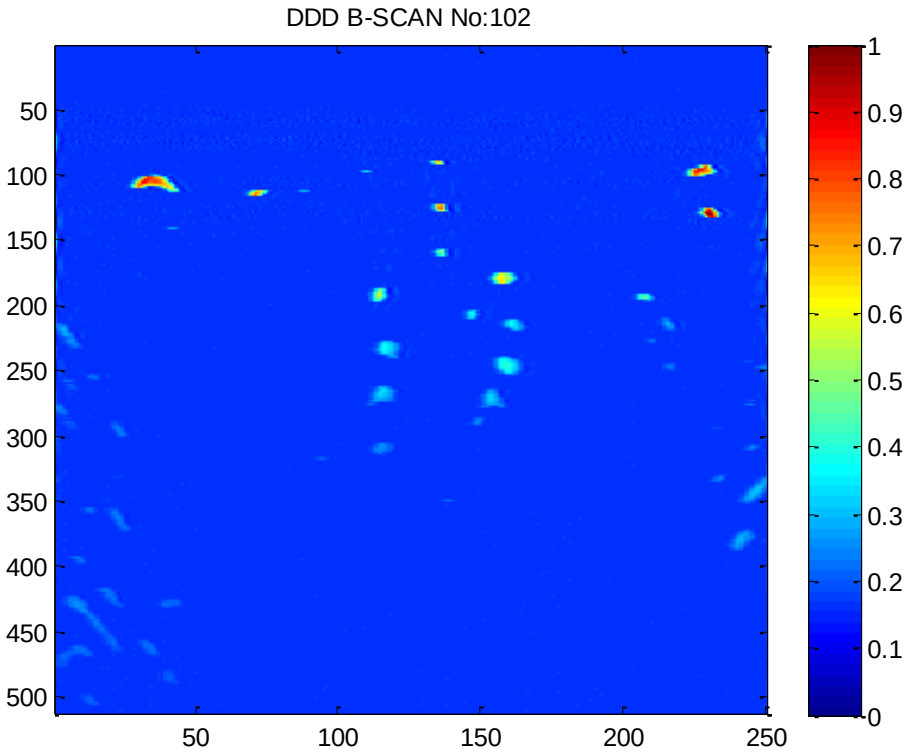


Şekil 4.25 : Dalgacık paket dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

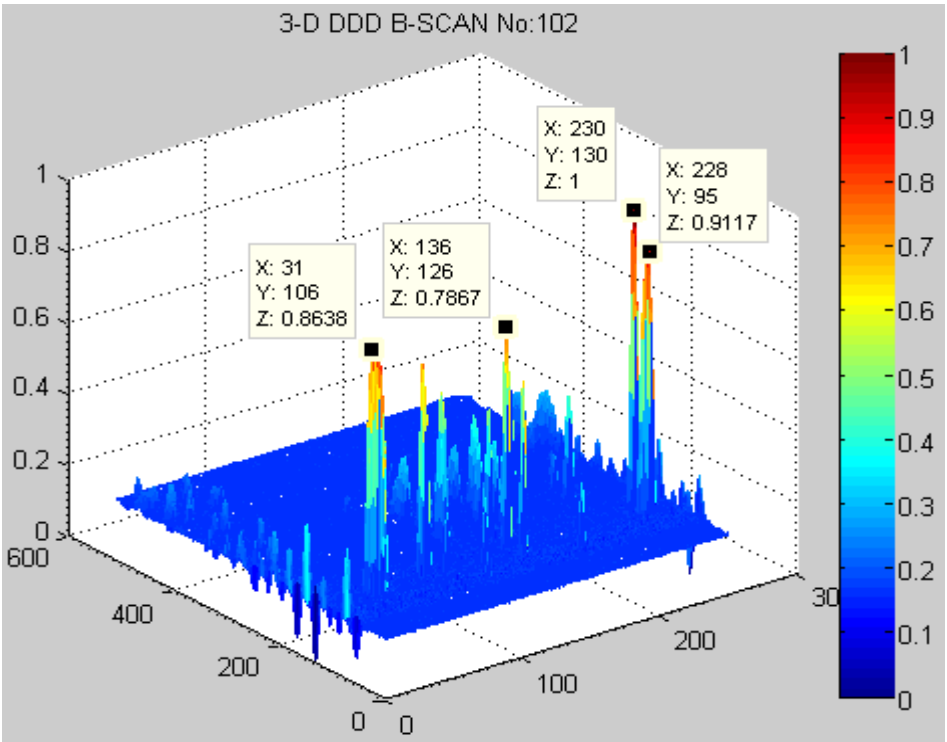
DPD uygulandıktan sonra, ADD'ye göre hedef kestiriminde belirgin bir iyileşme olmadığı gözlenmiştir. Bunun sonucunda, verinin detay bileşenlerinin, hedefe ait belirgin miktarda bilgi içermediği söylenebilir. İşlemin ise ADD'den daha uzun sürdüğü tespit edilmiştir. DPD'nin,verinin detay kısımlarına da uygulandığı göz önünde bulundurulunca bu durum beklenen bir sonuçtur.

4.2.8 Durağan Dalgacık Dönüşümünün radargrama uygulanması

Durağan dalgacık dönüşümünde ayrık dalgacık dönüşümünden farklı olarak, sinyalin uzunluğu her seviye sabit tutulmaktadır. Durağan dalgacık dönüşümünde de yüksek dereceli istatistik değerleri ile gauss testi yapılmış ve sert eşikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ters durağan dalgacık dönüşümü ile hedefe ait b- tarama elde edilmiştir.



Şekil 4.26 : Durağan dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.

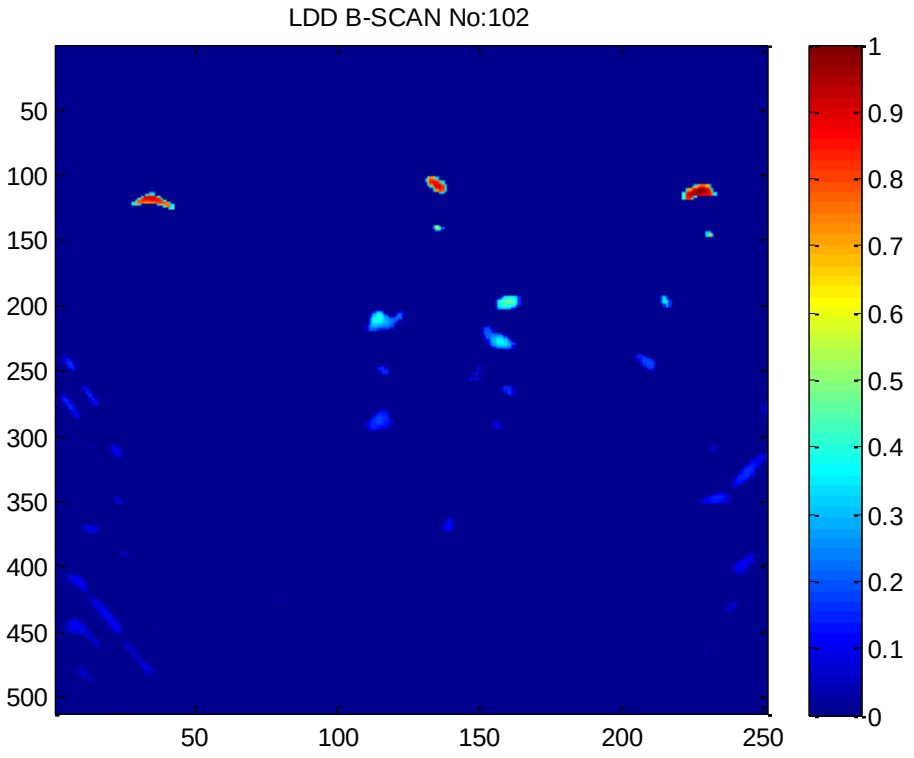


Şekil 4.27 : Durağan dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

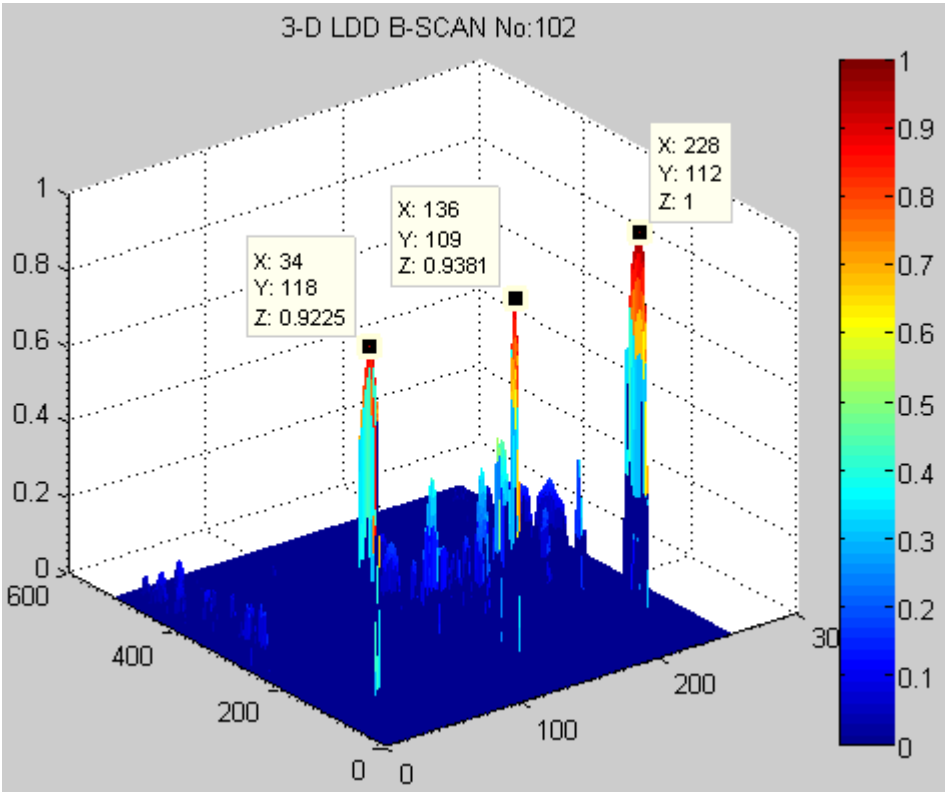
DDD'de her seviyede işaret boyutu azalmayıp sabit kaldığı için, daha fazla hesaplama gerektiğinden dolayı, işlem süresi ADD'ye göre daha fazla olmasına rağmen, hedef kestirimi ve kargaşa bastırma işlemi daha iyi sonuç vermektedir.

4.2.9 Lifting Dalgacık Dönüşümünün radargrama uygulanması

Bir boyutlu alt örneklemesiz Lifting dalgacık dönüşüm algoritması radargramın her bir satırına uygulanmış olup, yüksek dereceli istatistik değerleri ile gauss testi yapılmış ve ardından sert eşikleme işlemi gerçekleştirilmiştir. En son ters dönüşüm işlemi ile hedefe ait radargram elde edilmiştir.



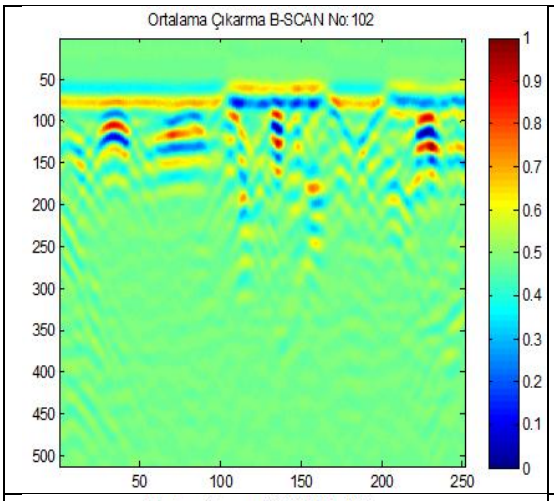
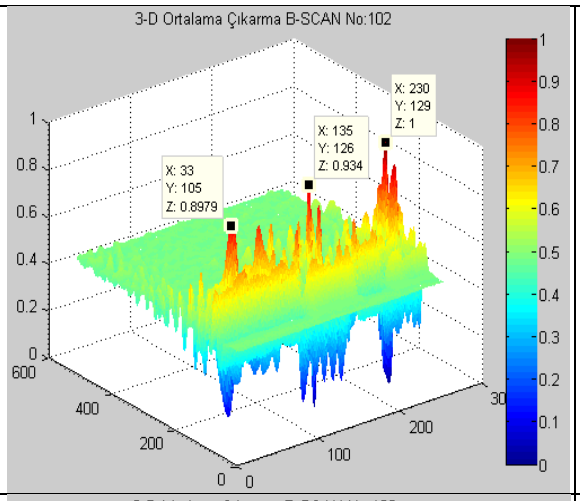
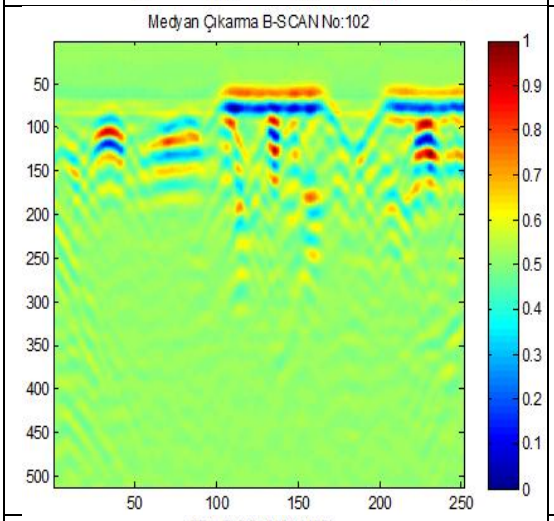
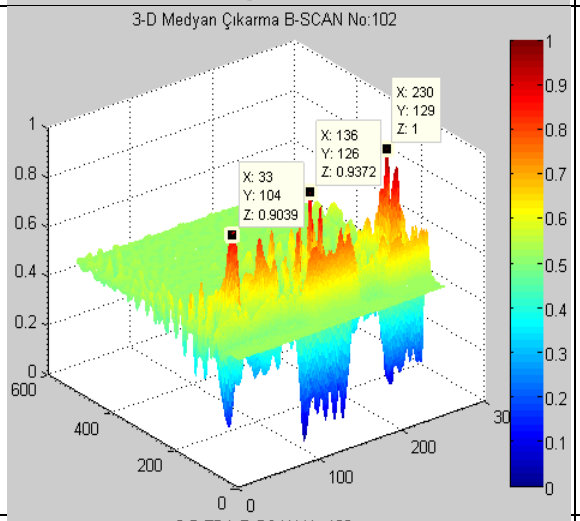
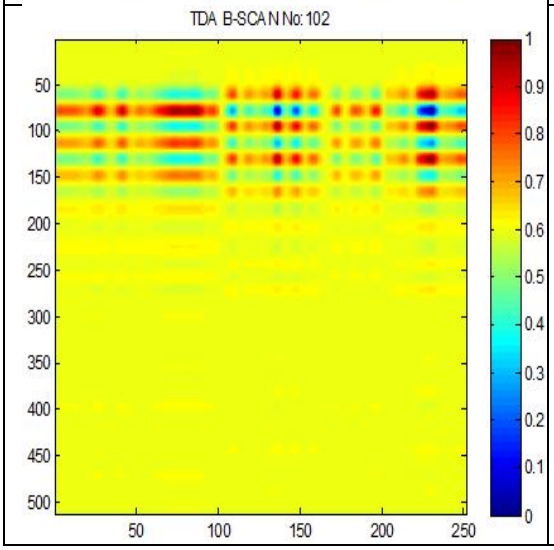
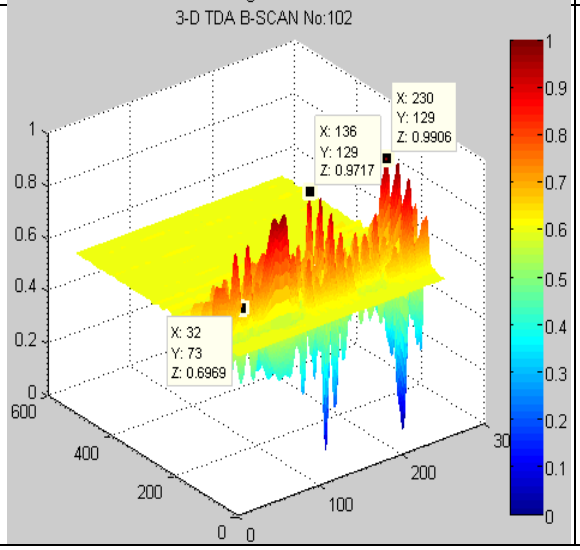
Şekil 4.28 : Lifting dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 2 boyutlu görünümü.

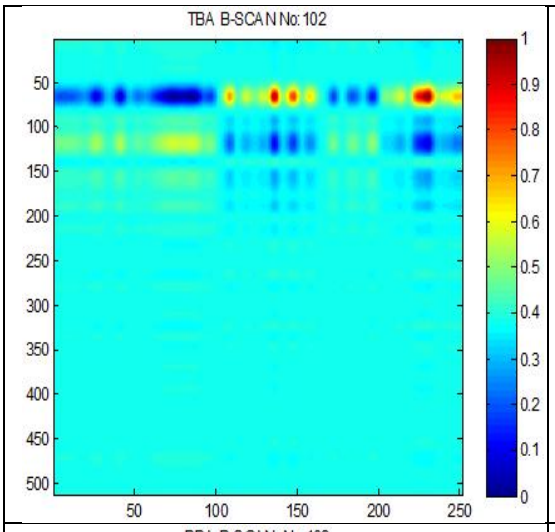
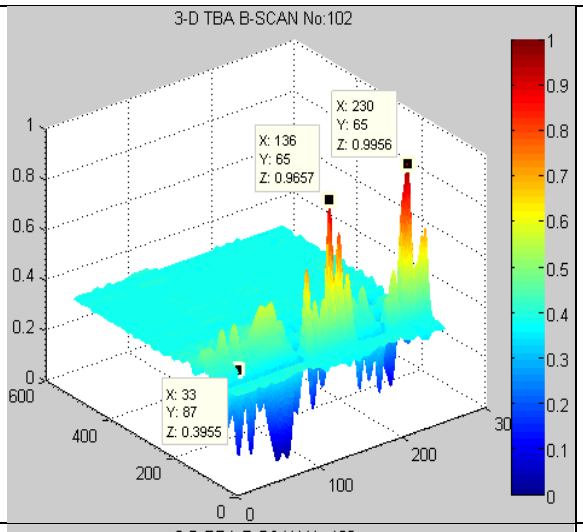
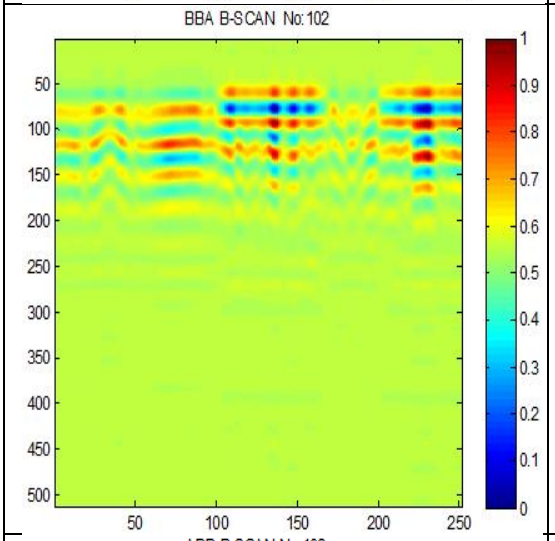
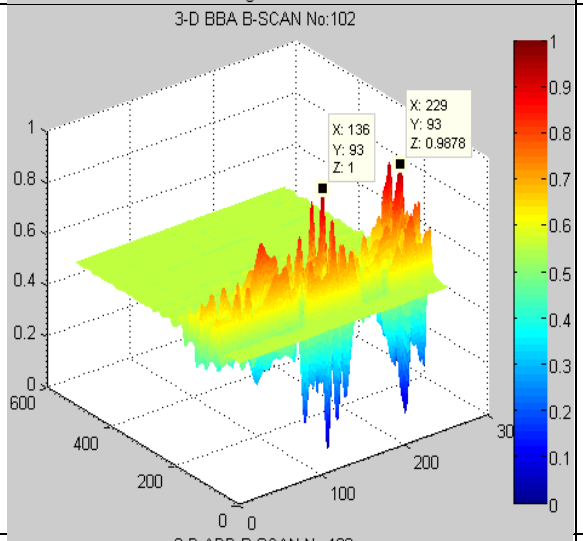
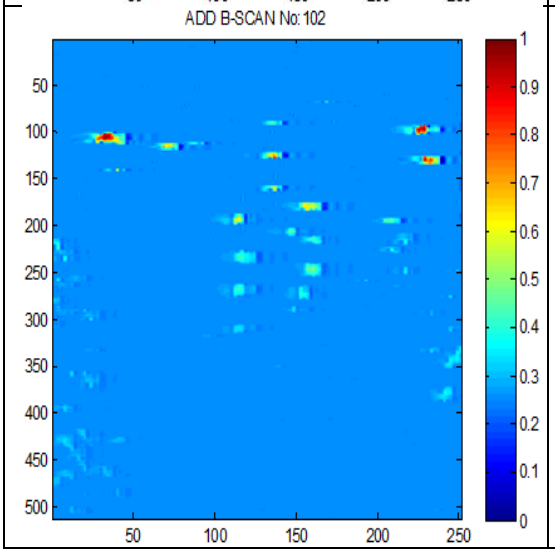
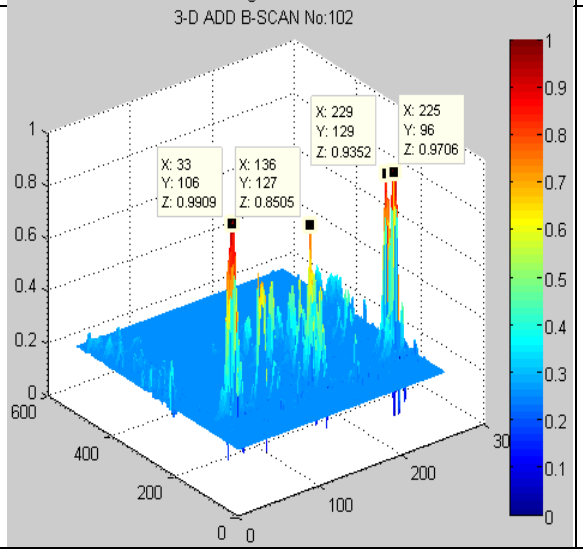


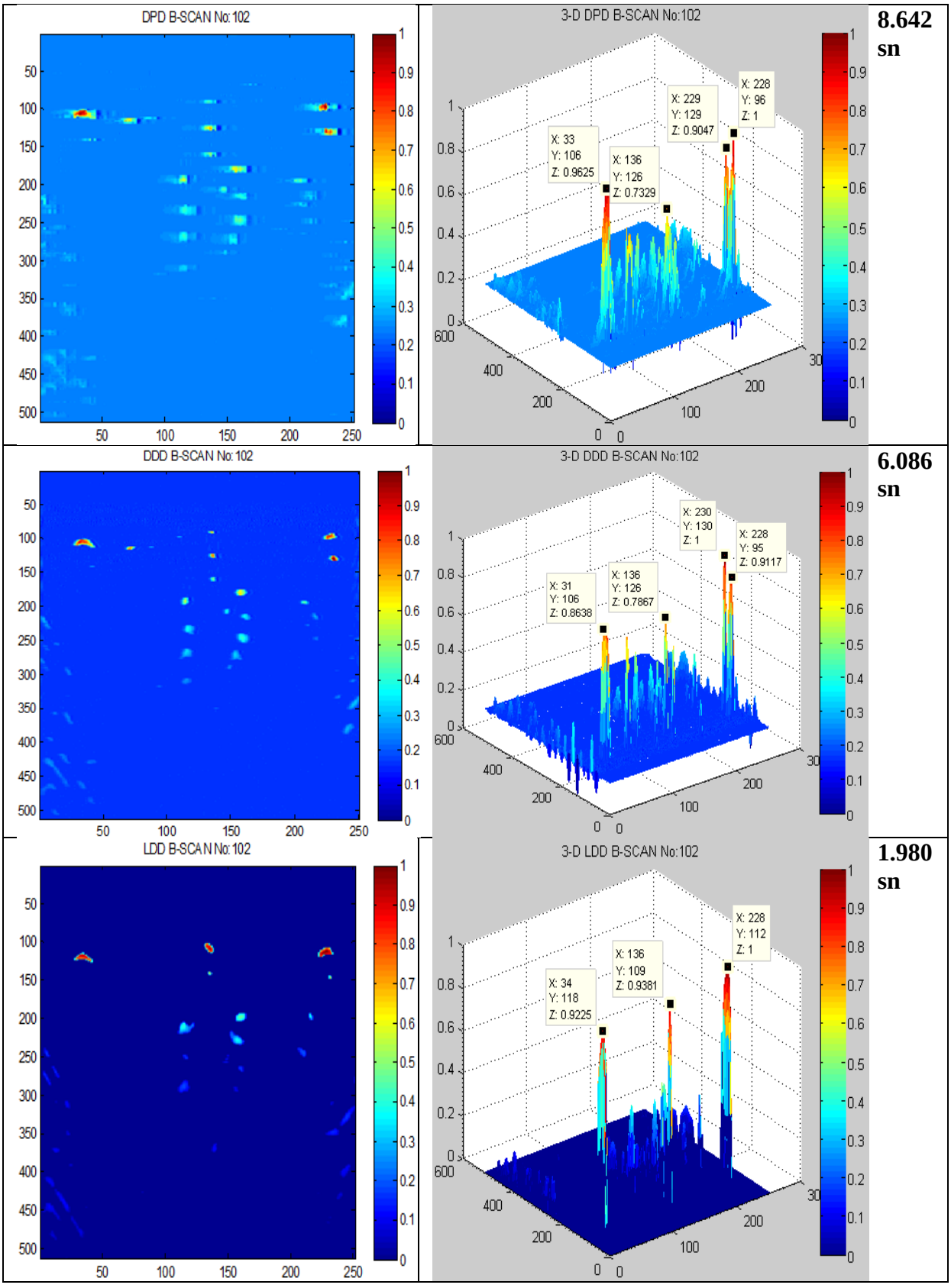
Şekil 4.29 : Lifting dalgacık dönüşümü uygulanmış radargramın 3 boyutlu görünümü.

Lifting Dalgacık Dönüşüm algoritması ile işlem süresi azaltılmaktadır. Durağan Dalgacık Dönüşümü'nde alt örneklemesiz çalışma ile hedef daha iyi kestirildiği için, Lifting Dalgacık Dönüşüm Algoritması, alt örneklemesiz gerçekleştirilmiştir. Geri plan kargaşa bastırımı ve hedef kestiriminin, Durağan Dalgacık Dönüşümü'ne göre daha iyi olduğu gözlenmekle beraber, işlem süresi de yaklaşık Durağan Dalgacık Dönüşümü'nün 1/3'ü kadardır.

4.3 Kargaşa Bastırma Tekniklerinin Karşılaştırılması

		**1.855 sn**
		**1.399 sn**
		**1.496 sn**

		**1.361 sn**
		**8.204 sn**
		**4.808 sn**



Şekil 4.30 : Kargaşa bastırma tekniklerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.30’da bütün tekniklerin uygulanması sonucunda elde edilen radargramların iki boyutlu ve üç boyutlu görüntüleri ve işlem süreleri daha iyi karşılaştırılmaları için alt alta gösterilmiştir. Sonuçlar incelenecek olunursa; Lifting dalgacık dönüşümü ile elde edilen görüntüde hedefin çok daha keskin şekilde kestirilip, kargaşanın daha iyi bastırıldığı , işlem süresinin ise diğer dalgacık dönüşümlerine göre çok daha kısa olduğu söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında yere nüfuz eden radar kullanılarak elde edilen radargramlar üzerinde çeşitli sinyal işleme teknikleri ile mayın tespiti gerçekleştirilmiş ve yöntemler arasındaki farklılıklar incelenmiştir.

Bölüm 5'te elde edilen sonuçlara göre ortalama ve medyan çıkarma yöntemleri, hedefi bulsa dahi kargaşanın büyük bir kısmını yok edememektedir. Temel bileşen analizi ve tekil değer ayrışımı; ortalama ve medyan çıkarma yöntemine göre daha iyi sonuç vermenin yanı sıra birbirine de yakın sonuçlar vermiştir. Ayrıca bu iki yöntemin sadece metal hedefi tespit ettiği gözlenmektedir. Tekil değer ayrışımı ve temel bileşen analizi yöntemlerinde birinci bileşenlerle elde edilen görüntünün geri plan kargaşasını, ikinci bileşen ile elde edilen görüntünün metal hedefleri, diğer bileşenlerle elde edien görüntülerin metalik olmayan cisimler ile gürültüyü içerdiği gözlenmiştir. Bağımsız bileşen analizi metal olmayan hedefleri de tespit edebilmesine karşın, bağımsız bileşenler, TBA yöntemindeki gibi sıralı elde edilemediği için hedefin hangi görüntüde ortaya çıkacağı kestirilememektedir. Ayrık dalgacık dönüşümü algoritmasında ise arkaplan kargaşasının; ortalama çıkarma, medyan çıkarma, tekil değer ayrışımı ve temel bileşen analizi yöntemlerine göre çok daha iyi bastırıldığı ve hedefin daha keskin sınırlarla ortaya çıktığı gözlenmektedir. Dalgacık paket dönüşümü; detay bileşenlere de alt örnekleme yaptığı için ayrık dalgacık dönüşümüne göre daha uzun süre sonra sonuç vermekle beraber, hedefe ait görüntü ayrık dalgacık dönüşümüne çok benzemektedir. Bu durumda detay bileşenlerin hedefe ait kayda değer bilgi içermediği söylenebilir. Durağan dalgacık dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümü ve dalgacık paket dönüşümüne göre çok daha iyi sonuç vermiştir işlem süresinin ayrık dalgacık dönüşümünden fazla olması durağan dalgacık dönüşümü tabanlı Lifting dalgacık dönüşümü yönteminin uygulanması fikrini ortaya çıkarmıştır. Lifting dalgacık dönüşümü; uygulanmasının kolay oluşu, algoritmanın hızlı cevap vermesi gibi avantajlarından dolayı veriye uygulanmış olup, durağan dalgacık dönüşümüne göre geri plan kargaşanın çok daha

iyi bastırıldığı, hedeflerin daha keskin sınırlarla ortaya çıktığı ve işlemin diğer dalgacık dönüşümlerine göre daha hızlı cevap verdiği gözlenmiştir.

Çalışmanın devamı olarak, bu yöntemler basamak frekanslı radar verileri için denenebilir. Ayrıca b-tarama üzerinde yapılan çalışmalar genişletilerek c- tarama veri üzerinde çalışmalar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Mali, D. ve Zoubir, A.M.** (2011), Clutter reduction techniques for GPR based buried landmine detection, Signal Processing, *Communication, Computing and Networking Technologies (ICSCCN)*, Sf. 182 - 186.

[2] **Miller, T.W., Hendrickx, J.M.H. ve Borchers, B**. (2004). Radar detection of buried landmines in field soils, *Vadose Zone Journal*.

[3] **Zoubir, A.M. ve diğerleri.** (2002). Signal processingtechniques for landmine detection using impulse GPR, *IEEE Sensor Journal*.

[4] **MacDonald, J. ve diğerleri.** (2003). Alternatives for landmine detection, *RAND Science and Technology Policy*.

[5] **Tesfamariam, G. T., Mali, D. ve Zoubir, A. M.** (2011). Clutter reduction techniques for GPR based buried landmine detection, *International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies*, Sf. 182-186.

[6] **Brunzell, H.** (1999). Detection of shallowly buried objects using impulse radar, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Cilt ***37***, sayı. 2, Sf. 875-886.

[7] **Riaz, M. M. ve Ghafoor, A.** (2012). Information theoretic criterion based clutter reduction for ground penetrating radar, *Progress in Electromagnetics Research*, Cilt ***45***, Sf. 147-164.

[8] **Karlsen, B., Larsen, J., Sorensen, H. B. D. ve Jakobsen, K. B.** (2001). Comparison of PCA and ICA based clutter reduction in GPR systems for anti-personal landmine detection, *Proceedings of the 11th IEEE Signal Processing Workshop on Statistical Signal Processing*, Sf. 146-149.

[9] **Verma, P. K., Gaikwad, A. N., Singh, D. ve Nigam, M. J.** (2009). Analysis of clutter reduction techniques for through wall imaging in UWB range, *Progress in Electromagnetics Research*, Cilt ***17***, Sf. 29-48.

[10] **Abujarad, F., Jostingmeier, A. ve Omar, A. S.** (2004). Clutter removal for landmine using different signal processing techniques, *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Ground Penetrating Radar*.

[11] **Jafarkhani, H.** (2005). **Wall, M. E., Rechtsteiner, A. ve Rocha, L. M.** (2003). Singular value decomposition and principal component analysis,*A Practical Approach to Microarray Data Analysis*, Chapter 5, Boston, USA.

[12] **Yu, C. Q. ve diğerleri** (2007). An improvement algorithm of principal component analysis, *International Conference on Electronic Measurement and Instruments*.

[13] **Diamantaras, K. I.** (2001). PCA neural models and blind signal separation, *International Joint Conference on Neural Networks*, Cilt. 4, Sf. 2997-3002.

[14] **Kocyiğit, Y. ve Korurek, M.** (2005). EMG isaretlerini dalgacık donusumu ve bulanık mantık sınıflayıcı kullanarak sınıflama, *İTÜ Dergisi Mühendislik Serisi*, Cilt ***4***, sayı. 3, Sf. 25-31.

[15] **Debnath, L.** (2002). *Wavelet transforms and their applications*, Birkhauser, Boston.

[16] **Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G. ve Poggi, J.** (1996). Wavelet toolbox user guide, *The MathWorks Inc.*, Natick, MA.

[17] **Li, Z., Jing, X., Li, W. ve Wang, J.** (2012). A wavelet-based strong clutter removal technique for UWB life detection, *14th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Sf. 957-960.

[18] **Lu, Q. ve Zhu, J. L.** (2010). Wavelet packet based de-noising algorithm for UWB GPR data, *14th International Conference on Microwave Radar and Wireless Communications*, Sf. 1-3.

[19] **Abujarad, F., Nadim, G. ve Omar, A.** (2005). Wavelet packets for GPR detection of non-metallic anti-personnel land mines based on higher-order-statistic, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar*, Sf. 21-25.

[20] **Daniels, J.J.** (1996). *Surface penetrating radar*, Radar, sonar, navigation and avionicsseries, The Institution of Electrical Engineers, London.

[21] **Daniels, J. J** (1996). Surface penetrating radar, *Electronics and Communication Engineering Journal*, Cilt ***8***, sayı. 4, Sf. 165-182.

[22] **Daniels, J. J.** (1989). Fundamentals of ground penetrating radar, *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*.

[23] **Abujarad, F. ve Omar, A.** (2006). GPR data processing using the component-separation methods PCA and ICA, *International Workshop on Imaging Systems and Techniques*, Sf. 60-64.

[24] **Hyvarinen, A.** (1999). Survey on independent component analysis, *Neural Computing Surveys*, , Cilt ***2***, Sf. 94-128.

[25] **Hyvarinen, A. ve Oja, E.** (2000). Independent component analysis: algorithms and applications, *Neural Networks*, , Cilt ***13***, Sf. 411-430.

[26] **Abbate, A. ve diğerleri.** (2002). *Wavelets and subbands fundamentals and applications*, A Birkhuser book, Berlin.

[27] **Kercel, S. W., Klein, M. B. ve Pouet, B.** (2001). Wavelet and wavelet-packet analysis of lamb wave signatures in real-time instrumentation, *IEEE Mountain Workshop Workshop on Soft Computing in Industrial Applications*, Sf. 25-27.

[28] **Sui, W. ve Zhang, D.** (2010). Noise reduction of ECG using spatial correlation filtering and stationary wavelet transform, *5th International Conference on Computer Science and Education*, Sf. 1085-1088.

[29] **Sweldens, W.** (1996). The lifting scheme: a custom design construction of biorthogonal wavelets , *Applied and Computational Harmonic Analysis*, Cilt ***3***, sayı. 2, Sf. 186-200.

[30] **Sweldens, W.** (1998). The lifting scheme: a construction of second generation wavelets, *SIAM Journal of Mathematical Analysis*, Cilt ***29***, sayı. 2, Sf. 511-546.

[31] **Claypoole, R. L., Davis, G. M., Sweldens, W. ve Baraniuk, R.** (1996). Nonlinear wavelet transforms for image coding via lifting, *IEEE Transactions on Image Processing*, Cilt ***12***, sayı. 12, Sf. 1449-1459.

[32] **Lee, C. S., Lee, C. K. ve Yoo, K. Y.** (2000). New Lifting based structure for undecimated wavelet transform, *IEEE Electronics Letters*, Cilt ***36***, sayı. 22, Sf. 1894-1895.

[33] **Zhang, W., Huang, Q., Zhenkun W.** (2009) The Fusion Remote Sensing Images Based on Lifting Wavelet Transformation, Cilt 2, sayı. 1, Sf. 70-75

[34] **Url-1** <*ftp://ftp.minedet.etro.vub.ac.be/minedet/data/*>, alındığı tarih: 01.09.2011.

[35] **Url-2** <*http:/www.minedet.etro.vub.ac.be/groundbase/datafiles/fdatafiles.html* >, alındığı tarih: 01.09.2011.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Ayşe AKDOĞAN
Doğum Yeri ve Tarihi:	Kayseri, 24.04.1987
Adres:	Bostancı Mah. Armağan Sok. Kaya Sitesi Daire No:74 Kadıköy İSTANBUL
E-Posta:	akdogan.ayse@gmail.com
Lisans:	T. C. Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği- KAYSERİ

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

T. C. Okan Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde 10/2010-01/2012 dönemleri arasında araştırma görevlisi olarak görev yaptım.

Ocak 2012'den itibaren HUAWEI Technologies Co. Ltd.'de yazılım test mühendisi olarak görev yapmaktayım.