



**2B GÖRÜNTÜLERDEN 3B HACİMSEL
GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI**

Çağlar KILIKÇIER



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

2B GÖRÜNTÜLERDEN 3B HACİMSEL GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI

Çağlar KILIKÇIER
0000-0001-7933-1643

Doç. Dr. Ersen YILMAZ
0000-0002-6620-655X
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020

ÖZET

Doktora Tezi

2B GÖRÜNTÜLERDEN 3B HACİMSEL GÖRÜNTÜLERİN OLUŞTURULMASI

Çağlar KILIKÇIER

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ersen YILMAZ

Hacimsel görselleştirme yüzey görselleştirmeye göre daha yüksek işlem yükü gerektirir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak hacimsel görselleştirmeye olan ilgi son yıllarda artmıştır. Hacimsel görselleştirmede önemli zorluklardan bir tanesi ilgi duyulan bölgelerin transfer fonksiyonları aracılığı ile çıkarımıdır. Bu tez çalışmasında hacimsel görselleştirmede karşılan bu zorluğun çözümü için yüzey görselleştirmede sıklıkla kullanılan sınıflandırma temelli yaklaşım uygulanmıştır.

Bu tezde önerilen yaklaşımda hacimsel görselleştirme işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada görüntü işleme ile yerel sınırlar çıkartılmakta ve bu sınırlar makine öğrenmesi yöntemi ile birleştirilerek ilgi duyulan bölge (İDB) belirlenmektedir. İkinci aşamada ise bir transfer fonksiyonu aracılığı ile İDB hacimsel olarak görselleştirilmektedir.

Önerilen yaklaşımın başarımların analizi yapılırken gürültünün İDB ve hacimsel görüntü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Başarım analizi sonucunda önerilen yaklaşımın hacimsel görselleştirmeyi iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hacim görüntüleme, Sayısal görüntü işleme, Görüntü sınıflandırma.
2020, viii + 104 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

3D VOLUMETRIC RECONSTRUCTION FROM 2D IMAGES

Çağlar KILIKÇIER

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ersen YILMAZ

Volumetric visualization requires higher processing load than surface visualization. In parallel with the development of technology, interest in volumetric visualization has been increased in recent years. One of the major challenges in volumetric visualization is the extraction of regions of interest through transfer functions. In this thesis, a classification-based approach, which is frequently used in surface visualization, has been applied to solve this challenge in volumetric visualization.

In the approach proposed in this thesis, volumetric visualization process is carried out in two stages. In the first stage, local boundaries are extracted with the image processing and the region of interest (ROI) is determined by combining these boundaries with the machine learning methods. In the second stage, ROI is visualized volumetrically by using a transfer function.

While analysing the performance of the proposed approach, the effect of the noise on the ROI and the volumetric image was investigated. As a result of the performance analysis, it was seen that the proposed approach improved the volumetric visualization.

Key words: Volume rendering, Digital image processing, Image classification.
2020, viii + 104 pages.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Veri Görselleştirme	5
2.1.1. Maksimum Yoğunluk Yansıması.....	6
2.1.2. Yüzey Modelleme	7
2.1.3. Hacim Modelleme.....	8
2.1.4. Transfer Fonksiyonları	10
2.2. Yapay Öğrenme	12
2.2.1. Öbekleme Yöntemi	14
2.2.2. Çekirdek Yöntemi	14
2.3. Süper Pikseller	15
2.3.1. Çizge Tabanlı yöntemler.....	16
2.3.2. Öbekleme Tabanlı Yöntemler.....	17
2.3.3. Havza Sınırlama Tabanlı yöntemler.....	18
2.3.4. Enerji eniyileme Tabanlı Yöntemler.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Veri Kümesi	21
3.1.1. Alacalı Gürültü Modeli	27
3.1.2. Tuz Karabiber Gürültü Modeli.....	27
3.2. Basit Doğrusal Yinelemeli Öbeklemeli Süper Pikseller	28
3.3. Özellik çıkarma	31
3.4. Destek Vektör Makineleri	33
3.5. Görselleştirme yöntemi	35
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	37
4.1. İlgili Duyulan Bölgelerin Tespiti	41
4.2. Görsel Sonuçlar	60
5. SONUÇ	88
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	102

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

I 2D Görüntü Matrisi

Kisaltmalar Açıklama

1B Bir Boyut
2B İki Boyut
3B Üç Boyut
AHO Alan Hata Oranı
BDYÖ Basit Doğrusal Yinelemeli Öbekleme
BF SEEDS İki taraflı Filtreli SEEDS
BYÖ Basit Yinelemesiz Öbekleme
CRS Kontür Süper Pikseller
DHM Doğrudan Hacim Modelleme
DVM Destek Vektör Makinesi
GN Gerçek Negatif
GP Gerçek Pozitif
İDB İlgi Duyulan Bölge
MINST Minimal Yayılan Ağaç
MYM Maksimum Yoğunluk Yansıması
RGB-D Kırmızı Yeşil Mavi- Derinlik
RGB α Kırmızı Yeşil Mavi- Alfa
ROI İlgi Duyulan Bölge
SEEDS Enerji Güdülü Örneklemeyle Çıkarılmış Süper Pikseller
SMURFS Çok ölçekli işlenmiş Süper Bölgelerden Süper Pikseller
VOKSEL Hacimlerin Tanımlanmasında Kullanılan ve Hacimleri En Küçük Parçacık
YN Yanlış Negatif
YP Yanlış Pozitif

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Yüzey taraması örneği	1
Şekil 1.2. Ortogonal üç dilim ile görselleştirilme ve hacimsel görüntü.....	2
Şekil 2.1. Maksimum Yoğunluk Yansıması Hesaplanması	6
Şekil 2.3. Işın İzleme ile Görselleştirme	10
Şekil 2.2. Yapay Öğrenme	13
Şekil 3.1. Sistemin blok diyagramı	20
Şekil 3.2. Oluşturulan büyük bir küre içinde iki elips fantomunun hacimsel görüntüsü	21
Şekil 3.3. Merkezde bir küre ve içi farklı iki küre içeren küre fantomunun hacimsel görüntüsü.....	22
Şekil 3.4. Merkezde bir küre ve yeriyle içi farklı iki küre içeren küre fantomunun hacimsel görüntüsü.....	22
Şekil 3.5. Eşit dilim kalınlıklarına sahip iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü.....	23
Şekil 3.6. Farklı dilim kalınlıklarına sahip iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü.....	23
Şekil 3.7. Elips içeren iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü	24
Şekil 3.8. İçinde 9 silindir barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü	24
Şekil 3.9. İçinde 7 silindir barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü	25
Şekil 3.10. İçinde kopuk silindirler barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü.....	25
Şekil 4.1. Tuz karabiber gürültüsünün kesinliğe etkisi	42
Şekil 4.2. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi.....	42
Şekil 4.3. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi	43
Şekil 4.4. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi	43
Şekil 4.5. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi	44
Şekil 4.6. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'nına etkisi	44
Şekil 4.7. Alacalı gürültünün kesinliğe etkisi	45
Şekil 4.8. Alacalı gürültünün özgüllüğe etkisi	45
Şekil 4.9. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi	46
Şekil 4.10. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi.....	46
Şekil 4.11. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi.....	47
Şekil 4.12. Alacalı gürültünün AHO'nına etkisi.....	47
Şekil 4.13. Tuz karabiber gürültüsünün kesinliğe etkisi.....	48
Şekil 4.14. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi.....	48
Şekil 4.15. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi	49
Şekil 4.16. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi	49
Şekil 4.17. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi.....	50
Şekil 4.18. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'nına etkisi	50
Şekil 4.19. Alacalı gürültünün kesinliğe etkisi	51
Şekil 4.20. Alacalı gürültünün özgüllüğe etkisi	51
Şekil 4.21. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi	52
Şekil 4.22. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi.....	52
Şekil 4.23. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi.....	53
Şekil 4.24. Alacalı gürültünün AHO'nına etkisi.....	53

Şekil 4.25. Tuz karabiber gürültüsünün kesinliğe etkisi.....	54
Şekil 4.26. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi.....	54
Şekil 4.27. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi	55
Şekil 4.28. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi	55
Şekil 4.29. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi	56
Şekil 4.30. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'nına etkisi	56
Şekil 4.31. Alacalı gürültünün kesinliğe etkisi	57
Şekil 4.32. Alacalı gürültünün özgüllüğe etkisi	57
Şekil 4.33. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi	58
Şekil 4.34. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi.....	58
Şekil 4.35. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi.....	59
Şekil 4.36. Alacalı gürültünün AHO'nına etkisi.....	59
Şekil 4.37. Alacalı gürültülü 1. fantom için oluşturulmuş görsel	60
Şekil 4.38. Alacalı gürültülü 1. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	61
Şekil 4.39. Alacalı gürültülü 1. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	61
Şekil 4.40. Tuz karabiber gürültülü 1. fantom için oluşturulmuş görsel	62
Şekil 4.41. Tuz karabiber gürültülü 1. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli.....	62
Şekil 4.42. Tuz karabiber gürültülü 1. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli.....	63
Şekil 4.43. Alacalı gürültülü 2. fantom için oluşturulmuş görsel	63
Şekil 4.44. Alacalı gürültülü 2. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	64
Şekil 4.45. Alacalı gürültülü 2. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	64
Şekil 4.46. Tuz karabiber gürültülü 2. fantom için oluşturulmuş görsel	65
Şekil 4.47. Tuz karabiber gürültülü 2. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli.....	65
Şekil 4.48. Tuz karabiber gürültülü 2. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli.....	66
Şekil 4.49. Alacalı gürültülü 3. fantom için oluşturulmuş görsel	66
Şekil 4.50. Alacalı gürültülü 3. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	67
Şekil 4.51. Alacalı gürültülü 3. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	67
Şekil 4.52. Tuz karabiber gürültülü 3. fantom için oluşturulmuş görsel	68
Şekil 4.53. Tuz karabiber gürültülü 3. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli.....	68
Şekil 4.54. Tuz karabiber gürültülü 3. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli.....	69
Şekil 4.55. Alacalı gürültülü 4. fantom için oluşturulmuş görsel	69
Şekil 4.56. Alacalı gürültülü 4. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	70
Şekil 4.57. Alacalı gürültülü 4. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	70
Şekil 4.58. Tuz karabiber gürültülü 4. fantom için oluşturulmuş görsel	71
Şekil 4.59. Tuz karabiber gürültülü 4. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli.....	71
Şekil 4.60. Tuz karabiber gürültülü 4. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli.....	72

Şekil 4.61. Alacalı gürültülü 5. fantom için oluşturulmuş görsel	72
Şekil 4.62. Alacalı gürültülü 5. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	73
Şekil 4.63. Alacalı gürültülü 5. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	73
Şekil 4.64. Tuz karabiber gürültülü 5. fantom için oluşturulmuş görsel	74
Şekil 4.65. Tuz karabiber gürültülü Şekil 3.6 İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görsel	74
Şekil 4.66. Tuz karabiber gürültülü 5. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli	75
Şekil 4.67. Alacalı gürültülü 6. fantom için oluşturulmuş görsel	75
Şekil 4.68. Alacalı gürültülü 6. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	76
Şekil 4.69. Alacalı gürültülü 6. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	76
Şekil 4.70. Tuz karabiber gürültülü 6. fantom için oluşturulmuş görsel	77
Şekil 4.71. Tuz karabiber gürültülü 6. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	77
Şekil 4.72. Tuz karabiber gürültülü 6. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli	78
Şekil 4.73. Alacalı gürültülü 7. fantom için oluşturulmuş görsel	78
Şekil 4.74. Alacalı gürültülü 7. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	79
Şekil 4.75. Alacalı gürültülü 7. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	79
Şekil 4.76. Tuz karabiber gürültülü 7. fantom için oluşturulmuş görsel	80
Şekil 4.77. Tuz karabiber gürültülü 7. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	80
Şekil 4.78. Tuz karabiber gürültülü 7. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli	81
Şekil 4.79. Alacalı gürültülü 8. fantom için oluşturulmuş görsel	81
Şekil 4.80. Alacalı gürültülü 8. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	82
Şekil 4.81. Alacalı gürültülü 8. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	82
Şekil 4.82. Tuz karabiber gürültülü 8. fantom için oluşturulmuş görsel	83
Şekil 4.83. Tuz karabiber gürültülü 8. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	83
Şekil 4.84. Tuz karabiber gürültülü 8. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli	84
Şekil 4.85. Alacalı gürültülü 9. fantom için oluşturulmuş görsel	84
Şekil 4.86. Alacalı gürültülü 9. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	85
Şekil 4.87. Alacalı gürültülü 9. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli ..	85
Şekil 4.88. Tuz karabiber gürültülü 9. fantom için oluşturulmuş görsel	86
Şekil 4.89. Tuz karabiber gürültülü 9. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli	86
Şekil 4.90. Tuz karabiber gürültülü 9. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli	87

1. GİRİŞ

Günümüzde 3 boyutlu (3B) görüntülerden sıkça bahsedilmekte ve sağlıktan eğlenceye, bilimsel araştırmalardan mühendislik tasarımlarına kadar birçok alandaki uygulamalarda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına göre bazı uygulamalarda nesnelerin yüzeylerini içeren bilgiler yeterli iken kimilerinde nesnelerin hacmini oluşturan bütün noktalar hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Kullanım alanlarına göre yüzey veya hacim görselleştirme için farklı özelliklerde 3B veriler oluşturulmaktadır.

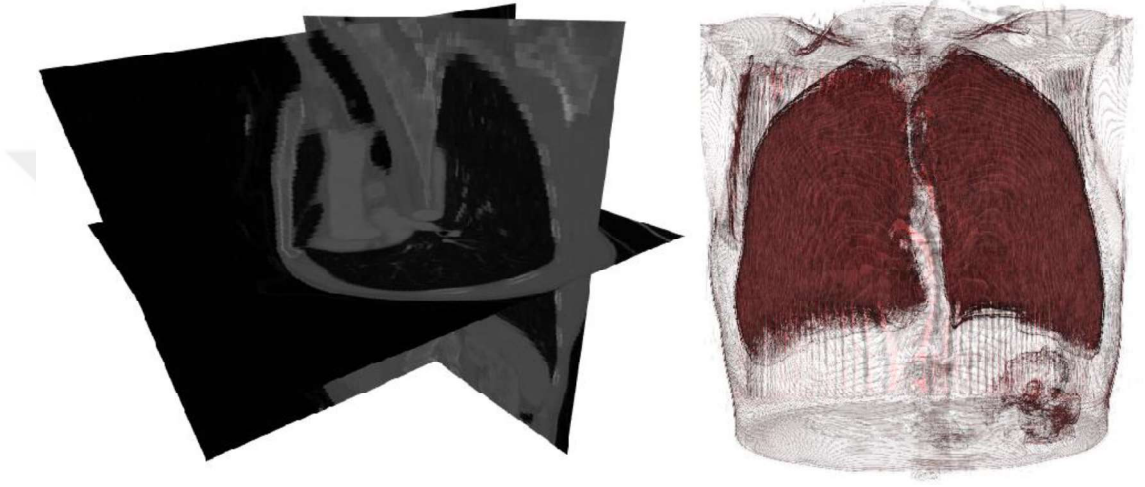
Nesnelerin sadece yüzey bilgisi ile oluşturulan görüntü tipi yüzey görselleştirme ile oluşturulan görüntülerdir. Bu tip görüntüler bize nesnelerin konumu ve şekli hakkında bilgi vermektedir ancak nesnelerin içinde ne olduğu hakkında bilgi vermemektedir. Örnek olarak Şekil 1.1’de (Choi ve ark. 2016) oluşturdukları veri kümesindeki 06020 numaralı nesne incelendiğinde 3 boyutlu uzayda yüzeyinin bulunduğu noktalar hakkında bilgi fikir sahibi olunmakta fakat koltuğun içyapısı hakkında herhangi bir fikir edinilememektedir.



Şekil 1.1. Yüzey taraması örneği

Hacimsel görselleştirme ise 3B tarama görüntülerinin aksine sadece yüzey bilgisini değil hacmi oluşturan her nokta yani vokseller hakkında bilgi içerir. Bu tip görüntülere örnek olarak Şekil 1.2’deki (Grove ve ark. 2015) çalışmasındaki veri kümesinden alınmış Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntüleri örnek verilebilir. Şekilde soldaki görüntü birbirine dik üç yüzey çizdirilerek oluşturulmuş iken sağdaki ise verinin hacimsel görüntüsüdür.

Bir birine dik yüzeyleri tarayarak nesne hakkında bilgi sahibi olmak yerine 3B hacimsel görüntüleri tahlil etmek daha basittir. Buradaki görüntüde bütün voksellerin içerdiği bilgi bilinmektedir. Bu bilgilerden faydalananak hacmin nasıl görüntüleneceği elcil yöntemlerle belirlenebilmekte ve hacim içindeki bilgi görselleştirilebilmektedir. Görülmek istenen bölgeler hakkındaki bilgi bu sayede görsel yolla edinilebilir. Fakat işe yarar hacimsel görüntülerin otomatik olarak oluşturulması görselleştirilmede başlıca bir problemidir.



Şekil 1.2. Ortogonal üç dilim ile görselleştirilme ve hacimsel görüntü

Şekil 1.2'deki görüntü aslında eksenleri 74x512x512 vokselde oluşan üç boyutlu bir uzaydır. Şekil 1.2'de bahsettiğimiz hacimsel görüntülerin elde edilebilmesi için görüntüleme de kullanılan ışınların nesnelerin içinden geçebilmesi gerekmektedir. Özel araç ve yöntemlerle, görüntülerin alınacağı bir eksen seçilerek hacmin içinde iki boyutlu birbirine paralel yüzeyler ardı sıra örneklenerek birleştirilir ve 3B görüntüler oluşturulur. Hacimsel görüntülerin oluşturulması için 3B verilerin varlığının yanı sıra görülmesi istenen bölgelerinde belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölgelerin bulunması ve bilgi kaybı yaşanmayacak bir şekilde görselleştirilmesi ise önemli bir problemidir.

Sinyal işleme bakış açısından bakıldığında bu problem, üç veya daha büyük boyutlu sinyallerin boyut indirgeme işlemiyle üç boyutlu uzaydaki gösterimlerinin 2B görsellere dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm sırasında ilgi duyulan bölgeye (İDB) ait anlamlı bilgi

kaybını minimize edecek ve görsel olarak algılanması kolay sinyal dönüşümünün bulunması görselleştirmede çözüm bekleyen problemler arasındadır.

İstenilmeyen kısımlarından ayrıştırılabilen basit geometrik şekillere sahip verilerde elcil yöntemlerle kolayca 3B görselleştirme gerçekleştirilebilirken aynı durum karmaşık veriler için söylenemez. İDB kolay ayrıştırılamayan verilerin elcil yöntemlerle görselleştirilmesi zordur, uzmanlık ve zaman gerektirmektedir. Bu süreç tamamen otomatikleştirilemediği için görselleştirme işlemindeki kullanıcı etkileşiminin sadeleştirilmesi önemli bir problemidir.

Görselleştirme işlemi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Güncel yöntemleri, yüzey ve hacim modelleme olarak ikiye ayırabiliriz. Yüzey modelleme yöntemleri ile yüzeylerin görselleştirilmesine odaklanılmıştır. Hacimsel yöntemlerde ise görselleştirmeye hacmin içeriği de katkıda bulunur. Yüzey modelleme ile bölgelerin şekilleri hakkında bilgi edinirken, bölgelerin içeriği hakkında bilgi edinmek için hacimsel görselleştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Hacimsel görselleştirmede İDB'deki içeriğin katkısı transfer fonksiyonları ile belirlenmektedir. Transfer fonksiyonları genellikle iki boyutlu olup, İDB ile ilgili kısımlarına değer atanarak görselleştirme gerçekleştirilmektedir. Fakat değer atanan kısımlar istenmeyen bölgelerinde görselleşmesine katkı sağlayabilmektedir yani görselleştirme birebir olmayan bir haritalama içermektedir. Transfer fonksiyonlarının tasarlanması çoğunlukla sezgisel olmayan karmaşık bir işlemdir. Bu nedenle bu kullanımlarının sadeleştirilmesi önem arz etmektedir.

Bu tezde, çok boyutlu karmaşık transfer fonksiyonları yerine verilerin ön işlemler ve sınıflama algoritmaları ile işlenerek İDB'lerin basit transfer fonksiyonları ile görselleştirilebilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede İDB'nin belirlenmesi işinin transfer fonksiyonuna yüklenmemesi ve kullanımının kolaylaşması istenmiştir. Kullanılan verilerle birbirine paralel ardı sıra örneklenmiş iki boyutlu görüntülerdeki ilgi duyulan kısımların hacimsel görüntülerin oluşturulması problemi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın önemi hacimsel görüntü üreten cihazlardan alınan verilerin incelenmesinde, görüntüyü parçalayarak dilimler halinde incelemek yerine bir bütün olarak ilgi duyulan

nesnelerin görüntülenebilecek bir şekilde görselleştirilmesi aşaması için uzmanlık gereksinimini azaltan basit bir çözüm üretmesidir. Tez çalışmasında görselleştirme alanında göz ardı edilen verinin gürültülü olmasının etkileri incelenmiştir.

Tezin 2. kısmında görselleştirmenin nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilmiştir. İDB bulunmasında yararlanılan yapay öğrenme konusu kısaca anlatılmış olup, kullanılan görüntü işleme metodunun literatür özeti verilmiştir. 3. kısımda ise kullanılan veri ve metotlar hakkında bilgiler verilmiştir. Bir sonraki kısımda tez çalışması sonuçları ve görsel sonuçlar tartışılmıştır. Son kısımda ise sonuçlar ile gelecekte yapılabilecek çalışmalara ilişkin öneriler bulunmaktadır.



2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu kısımda sırasıyla 3B görselleştirme yöntemleri olan maksimum yoğunluk yansıması, yüzey modelleme ve hacim modellemeden bahsedilmiş. İDB'ye karar vermede kullanılan makine öğrenmesi ile ilgili temeller ile kullanılan yöntemlere değinilmiş. Görüntü işleme aşamasında faydalanan süper pikseller yöntemlerine değinilmiş. Tercih edilen yöntemlerle ilgili kaynaklar verilmiştir.

2.1. Veri Görselleştirme

Hacimsel verilere ait görüntüler incelenmek istendiğinde, dilimlenmiş iki boyutlu düzlemler veya düzleme yansıtılmış üç boyutlu nesneler olarak görselleştirilebilirler.

Dilimlenmiş olarak görselleştirme verinin tek seferde bir bütün olarak incelenmesine olanak sağlamamaktadır. Şekil 1.2 görselinde solda ortogonal üç dilim ile gerçekleştirilmiş görsel bu yöneme bir örnektir. Hacmin tamamı hakkında bilgi sahibi olmak için dilimlerin tek tek incelenmesi gerekmekte ve hacmin bütünü zihinde birleştirilmesi gerekmektedir.

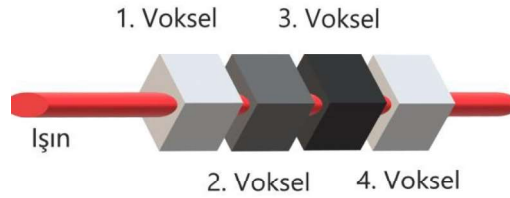
Nesneler üç boyutlu olarak görselleştirildiğinde ise hacimler bir yüzeye yansıtılmaktadır. Bu yansıtılma işlemi ile nesne üç boyuttan iki boyuta indirgenerek görselleştirilmektedir. Oluşturulan görüntüdeki piksellerin tanımlaması gereken özellik sayısı birden fazla olabilmektedir. Bunun sebebi her bir pikselin, hacimsel veri içerisinde temsil ettiği çok sayıda noktanın izdüşümünden oluşması yani voksel içermesinden kaynaklanmaktadır. Her bir pikselin temsil etmek zorunda olduğu çok sayıdaki vokselin görselleştirilmesi problemi ise hacim görselleştirmenin ana problemlerinden biridir.

Görselleştirme işlemi, maksimum yoğunluk yansıması (MYV), yüzey veya hacim giydirme ile gerçekleştirilebilir. MYV 3B hissi veren görüntüler oluşturmakla beraber gerçekte röntgen benzeri görüntüler oluşmaktadır. Yüzey giydirme ile gerçekçi görüntüler elde edilebilmektedir, ancak hacimlerin sadece dış yüzeyi görselleştirilmektedir. Yüzey giydirmede yüzeyin modellenmesi veya yüzeyi tanımlayan transfer fonksiyonlarının oluşturulması gereklidir. Hacimlerin iç kısmının da görsellere

etkisinin olması için hacim giydirmeye tercih edilmelidir. Hacim giydirmeye işlemi için de voksellerin özelliklerini belirten transfer fonksiyonlarının tanımlanması gereklidir.

2.1.1. Maksimum Yoğunluk Yansıması

En temel yöntemlerden biri olan Maksimum Yoğunluk Yansıması, görselleştirmede kullanılan ışının geçtiği noktalardan sadece maksimum değere sahip vokselin görselde yer aldığı görselleştirme biçimidir (Landini ve ark. 2008). MYY yönteminde oluşturulacak görüntüdeki piksellere denk gelecek paralel ışınlar kullanılır ve bu ışınlar ait değerler piksellere yansıtılır. Işınların değeri bulunurken, ışının geçtiği en büyük değerli vokselin değeri sonuç olarak seçilir. Şekil 2.1'deki ışın için bulmak istersek en büyük değerli voksel aranmakta ve bu değer ise ışının değeri kabul edilmektedir. Işının geçtiği ikinci ve üçüncü vokseller görüntüye herhangi katkıda bulunmamakta. Aynı değere sahip ve en büyük olan birinci ve dördüncü voksellerin ise iki adet bulunması ise ışının değerinde herhangi değişikliğe neden olmamaktadır. Bu görselleştirmede ışın üzerindeki voksellerin sayısının veya sıralamasının dikkate alınmadığını göstermektedir. Bu tip görselleştirme ile birbirine yakın özelliklere sahip bölgeler ayırt edilememektedir.



Şekil 2.1. Maksimum Yoğunluk Yansıması Hesaplanması

MYY görselleştirmesine benzer, Minimum Yoğunluk Yansıma, Ortalama Yoğunluk Yansıma, Yerel MYY gibi yöntemlerde bulunmaktadır (Dalrymple ve ark. 2005, Sato ve ark. 1998). Bu ve benzeri yöntemlerin kullanılmasının ve araştırılmasının önemli bir sebebi düşük işlem yükleri ve ortaya atıldıkları zamandaki donanımsal kısıtlamalardır. Yüzey ve hacim modelleme gibi 3B görselleştirme yöntemlerinin ilk önerildikleri

zamanlarda gerçek zamanlı çalışması için özel donanımların kullanılması veya tasarlanmasını gerekmektedir. Bu sebeple bazı durumlarda MYY medikal uygulamalarda keskin kontrasta sahip bölgelerin röntgen görüntülerine benzer görsellerini elde edilmesinde tercih edilebilmektedir (Fishman ve ark. 2006). Ancak oluşturulan görsellerde derinlik algısı bulunmamaktadır (Preim ve Botha 2013).

2.1.2. Yüzey Modelleme

Yüzey modelleme metotlarında hedef gerçekçi görüntülerin elde edilmesidir. Görsellerde İDB'ye ait yüzeyler görselleştirilmektedir. Işık kaynaklarından gelen ışınların yüzeylerden yansıyan, saçılan ve emilen kısımları yüzey normallerine ve bakış açısına göre hesaplanarak görseller oluşturulur. Oluşturulan görsellerin gerçekçi olması amaçlanmakta ve çoğunlukla görseller yüzeylerin altında kalan kısımlar hakkında herhangi bir bilgi içermemektedir.

Şekil 1.1 yüzey taranması ile elde edilmiş ve doku eklenmemiş yüzey görselleştirmesine bir örnektir. Koltuğun içinde ne olduğu bilgisi görselden elde edilememektedir. Hacimsel verilerde görselleştirme bu yöntem ile gerçekleştirildiğinde sadece belirlenen nesnelerin dış yüzeyleri hakkında fikir sahibi olunabilir. Nesnelerin içi hakkında bilgi edinmek için iç kısımlara ait yüzeylerde görselleştirilebilir. Ancak bu işlem için yeni bir İDB tanımlanıp bulunması gerekmektedir. Fakat görseller yine sadece yüzeylerin bilgisini içermektedir. Bulunan iç içe geçmiş yüzeyler görselleştirildiğinde, nesnelerin iç yapısının tamamı hakkında bir bilgi içermemektedir. Yüzey görselleştirme metotları ile elde edilen görseller şekil ve sınırlar hakkında net bilgiler verirken, yüzeyler arasında veya içinde kalan bölgeler hakkında bilgi bulundurmamaktadır.

Oluşturulan görseller, derinlik bilgisi içermekte ve yüzeylerden yansıyan ışık kaynaklarının modellenmesine dayanmaktadır. Bu sebeple yüzeyin modellenmesi için yüzeyi belirten noktaların örneklenmesi ve yansımaların görselleştirilmesi içinse yüzey normallerinin bulunması gerekmektedir. Ancak görselleştirme aşamasında donanım sınırlamalarından dolayı ışık kaynakları ve yüzey sadeleştirilir. Bu nedenle yüzeyi temsil eden örnek noktaların sayısı ve konumu görselleştirme için önem arz etmektedir.

Çünkü görselleştirmenin doğruluğu yüzey yansımalarının doğru yaklaşıklarla temsil edilmesine bağlıdır. Yüzey modelleme ile Görselleştirmede kullanılan çeşitli tekniklerin ortak noktası İDB yüzeylerinin belirlenmesi gerekliliğidir. Yüzeylerin belirlenmesinde kontur çıkarma (Pedrosa ve ark. 2015), eş yüzey (Patera ve Skala 2004) , çizge kesikleri (Oda ve ark. 2012), gibi bölütleme veya sınıflama (Selver ve Güzeli 2009) metotlarıyla sınırlar belirlenmeye çalışılır.

Kullanılan metotlara göre tanımlanan sınırlar poligon örgüler (Lorensen ve Cline 1987) veya voksel tabanlı (Lin ve ark. 2001) olabilmektedir. Poligon örgüler kullanıldığında, görsel uzayını tanımlayan noktalar azaltılarak veya arttırılarak yüzey detayları kontrol edilebilir. Uzayı tanımlamada kullanılan koordinatların farklı şekillerde tanımlanmaları ile nesnelerin yüzeylerini tanımlamak için gereken nokta sayısı azaltılabilir. Benzer şekilde bulunan noktaların tanımlı oldukları konumlar değiştirilerek tanımlanan yüzeyler düzgünleştirilebilir (Telea 2014).

Literatürde önerilmiş çeşitli metotlar ve yazılım kütüphaneleri bulunmaktadır. Metot seçimi (Sieger ve Botsch 2011) çalışmasında belirttiği gibi kullanılan uzaydaki konum tanımlamaları, yüzey giydirme süresi, kullanım basitliği, bellek sınırlamaları gibi ölçütlere göre yapılmalıdır.

2.1.3. Hacim Modelleme

Hacim modelleme ile İDB görselleştirilirken ışın izleme temelli doğrudan hacim modelleme (DHM) yöntemleri tercih edilir. Bu görselleştirme yönteminde voksellerin farklı saydamlıklarda olduğu ve ışık yaydıkları kabul edilmektedir. Yöntemin görselleştirme mantığı hakkında farklı açıklamalar önerilmiştir (Drebin ve ark. 1988, Luo ve Dingliana 2015, Sabella 1988).

Görselleştirmeye ışığın yayılımı, emilimi, yansımaları ve saçılması etki etmektedir. Ancak modellemelerde hacmin içinin görselleştirilmesi önem kazandığından, fotoğraf gerçekliği görselleştirmelerinde hesaba katılan saçılmalar ve yansımalar ihmal

edilebilmektedir. Çoğu hacim görselleştirme modelinde, yansıma yüzeyleri ve saçılmalar ihmal edilmiştir (Rezk-Salama ve ark. 2006).

Görseller sayısal sistemlerde oluşturulurken genellikle voksellerin saydamlık ve renk bilgileri kullanılmaktadır (Avila ve ark. 1994, Barillot 1993, Telea 2014). Bu tip modellerde voksellerin ışık kaynağı olduğu varsayılmakta ve her birinin saydamlıkları da hesaba katılarak görselleştirilmektedir. Görselleştirme aşamasında voksellerin saydamlık ve renk değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu bilgi için transfer fonksiyonları olarak da adlandırılan opaklık ile beraber renk bilgisi de içerebilen haritalama fonksiyonlarının çıkartılmış olması gerekmektedir. Süreç olarak paralel işlemler gerçekleştirmeye müsait olan bu modelleme, kompozit yöntemi olarak da geçmektedir (Correa ve Ma 2009, Drebin ve ark. 1988, Stompel ve ark. 2003).

Literatürde çalışmalar çoğunlukla transfer fonksiyonlarının belirlenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Oluşturulacak transfer fonksiyonları, saydamlık, renk, gölgelendirme, yansıma, saçılım ve salıcılık gibi görsel değişkenleri kapsayabilir (Kindlmann 2002). Transfer fonksiyonun değişkenlerine görselleştirme değeri atarken; voksel yoğunluk değerlerinden, hacim matrisinden veri işleme ile çıkartılmış özelliklerden, konum veya bakış açılarından faydalanılabilmektedir. Transfer fonksiyonları girişlerindeki değişken sayısına göre bir, iki veya daha fazla boyutlu olabilmektedir. Bir boyutlu yoğunluğa bağımlı saydamlık veya RGBa gibi transfer fonksiyonları donanım tarafından hızlıca görselleştirilebilirken çoğu diğer transfer fonksiyonunun yazılım ile görselleştirilmesi gerekmektedir. Ancak yazılım ile her transfer fonksiyonu standart bilgisayar donanımlarla kabul edilebilir hızlarda görselleştirilememektedir. Amaca özel olarak tasarlanmış paralel mimariler (Stompel ve ark. 2003) veya benzeri özel donanımlarla bu problemin üstesinden gelinabilmektedir.

Şekil 2.3'te görsel oluşturmak üzere gözlemciye bir ışın yollanmış. Işının hacmin içerisinde ilerlerken özelliği dördüncü voksele kadar değişikliklere uğramış sonrasında ise sabit kaldığı görülmektedir. Bu tip görselleştirmelerde İDB nasıl görüneceğini belirleyen ana faktörler transfer fonksiyonu ve bakış açısıdır. Görselin oluşturulduğu bakış açısına göre içerik hakkında edinilecek detaylar değişmektedir. Farklı bir bakış

açısında bakıldığında beşinci vokselin görsele katkıda bulunması olasıdır. Daha fazla detayın görselleştirilebilmesi adına farklı önceliklere sahip yöntemler önerilmiştir. Bunlara; en iyi bakış açılarının bulunmasıyla ilgili yöntem (Bordoloi ve Han-Wei Shen 2005), görünürlük tabanlı transfer fonksiyonları (Jung ve ark. 2016, 2018, Luo ve Dingliana 2015, 2016) ve bakış açısına göre transfer fonksiyonunu eniyileme (Correa ve Ma 2011) verilebilir.



Şekil 2.3. Işın İzleme ile Görselleştirme

Hangi amaç ve özellikle önerilmiş olursa olsun, İDB hacminin iç kısmı hakkında bilgi verecek şekilde görseller üretmede transfer fonksiyonları ana belirleyici etmendir. Bu nedenle literatürde farklı amaçları hedefleyen transfer fonksiyonu oluşturma yöntemleri önerilmiştir.

2.1.4. Transfer Fonksiyonları

Transfer fonksiyonları yüzey modellemede de hacim modellemede de kullanılmaktadır. Bunlar görsel oluşturulmak istenen verilerin özelliklerine ve ihtiyaca göre bir veya çok boyutlu olacak şekilde, ön bilgilerle; veriden çıkartılan özniteliklerin kullanımıyla oluşturulmaktadır. Bir boyutlu transfer fonksiyonları, en temel saydamlık atama yöntemidir. Her bir yoğunluk seviyesine, istenen saydamlık değeri atanmaktadır. Bu yöntem donanımsal olarak hızlıca görselleştirilebilmektedir. İDB'lerin yoğunluklarına göre kolayca ayırt edilebildiği, BT gibi voksellerin yoğunluk seviyelerinin farklı doku ve organları temsil ettiği durumlarda kullanılmaları uygundur. Tıbbi görüntülerde farklı

uygulama alanları bulunmaktadır (Selver ve ark. 2007). Fakat İDB'ler ile istenmeyen bölgelerin aynı yoğunluğa sahip olduğu durumlarda sadece 1B TF kullanılarak istenen kısımlar görsel olarak ayırt edilememektedir.

Bu problem, 1B transfer fonksiyonuna yoğunluk dışında diğer değişkenlerin daha eklenmesiyle iki veya çok boyutlu transfer fonksiyonlarının kullanımı ile çözülmeye çalışılmıştır. Çok boyutlu transfer fonksiyonları 1B TF tablosu şeklinde (Hadwiger ve ark. 2003), bir yüzey olarak (Kniss ve ark. 2002) veya paralel koordinatlar (Tory ve Potts 2005) yardımıyla tanımlanarak da oluşturulabilir (Ljung ve ark. 2016). Çok boyutlu transfer fonksiyonlarının ilk örnekleri ek boyut olarak gradyen bilgisinin eklenmesi ile oluşturulmuşlardır (Levoy 1988). Bunlar çoğunlukla bölgeler arasındaki geçiş noktalarının tespitinde başarılıdır. Ancak çoğu zaman bir boyutlu transfer fonksiyonlarında da olduğu gibi görselleştirilmek istenen ve istenmeyen kısımlar iç içe geçmektedir (Kniss ve ark. 2002). Bu sebeple transfer fonksiyonunda gradyen yerine ikinci türevleri (Zou ve ark. 2010), istatistiksel çıkarımlar (Ip ve ark. 2012), hacim (Correa ve Ma 2008), görünürlük histogramı (Correa ve Ma 2011, Lundström ve ark. 2006) ve benzeri özelliklerin kullanılması önerilmiştir (Zhou ve ark. 2012).

Transfer fonksiyonları, farklı özellik ve sayıda boyutlu üretilebilmelerinin yanı sıra tanımlı oldukları uzayda aldıkları değerler görselleştirmede ana etmendir. Kullanılan metotlarla beraber değer atama şeklide önem taşımaktadır. Sadece elcil yöntemler kullanılarak TF değerleri belirlenirken 1B çeşidinde bile görsel ile ilişkisinin anlaşılması ve önceden kestirilmesi zor, uzmanlık ve zaman gerektiren bir süreçtir. TF değerleri otomatik olarak atanabilmektedir ancak kullanılan metotların kullanıcı etkileşimli olması görsel kalitesini arttırmak adına önemlidir. Bu sebeple yarı otomatik TF yaratma metotları kullanılmaktadır. Bunlar konum, yoğunluk ve benzeri özelliklerden çıkartılan; ön bilgiye dayalı kullanıcı etkileşimli TF üretme metotlarıdır. Bu sadeleşmeler ile TF daha basit ve nispeten sezgisel olarak elde edilebilmektedir. Fakat bu kullanıcının TF ile görsel üzerinde yapabileceği değişiklikleri kısıtlamaktadır (Nguyen ve ark. 2012). Tıbbi görüntülemelerde kullanılan Nguyen ve arkadaşlarının (2012) önerdiği öbekleme tabanlı yöntem otomatik ile Selver ve Güzeli (2009) önerdiği doku ve organların

sürekliliklerinden faydalanan yapay sinir ağı tabanlı yöntem yarı otomatik metotlara örnek olarak verilebilir.

2.2. Yapay Öğrenme

Yapay öğrenme, sınıflama ve bağlanım çözümlemesi gibi işlemlerde veriyi işleyerek doğru sonucu verecek modele ait örüntünün bulunmasıdır. Yapay öğrenme algoritmaları, çeşitli amaçlar için kullanılan algoritma ve yazılımların, modellerinin bulunmasına yardımcı olur (S. Wang ve Summers 2012).

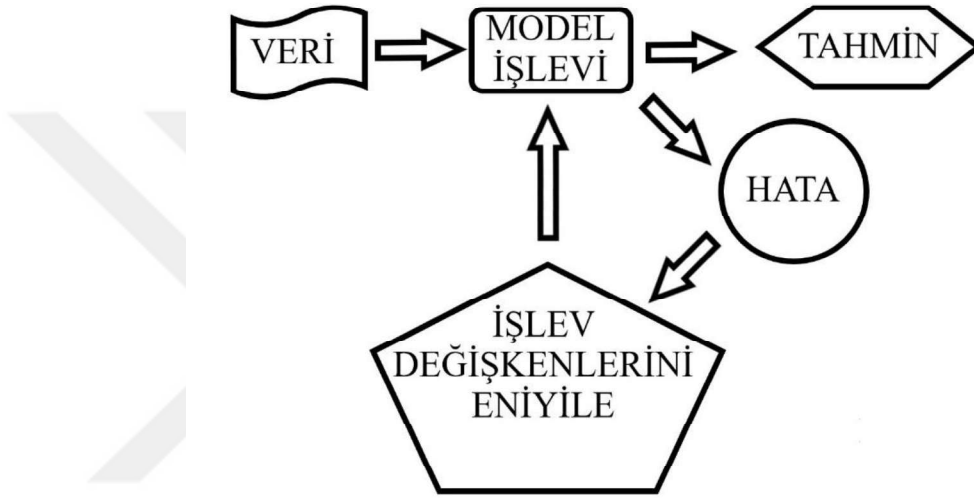
Yapay öğrenme yöntemleri genel olarak gözetimsiz ve gözetimli öğrenme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu iki yöntemin dışında nihai sonuca ulaşmada ardışık, bir dizi ara sonuçların kullanıldığı pekiştirmeli öğrenme de bulunmaktadır.

Gözetimsiz öğrenmede eldeki veri hakkında hali hazırda bir çıkarım veya sonuç bulunmamaktadır. Veri hakkındaki çıkarımları, seçilen yöntemin bulması beklenmektedir. Bu sayede veri hakkında bilinmeyen örüntülerin bulunması hedeflenmektedir. Bulunan sonuç ve çıkarımlar seçilen yapay öğrenme yöntemine bağlıdır. Kullanılacak modelin veri hakkında istenen bilgileri çıkaracak biçimde yapılanması gereklidir. Bu nedenle oluşturulacak modelin başarılı olabilmesi için modelin seçimi ve eniyilemesi aşamasında tecrübe, ön bilgi veya sezgilerden faydalanılmalıdır.

Gözetimli öğrenmede ise verilerden elde edilmesi beklenen sonuç hakkında bilgi bulunmaktadır. Sonuçları bilinen veriler genellikle eğitim ve test kümeleri olarak ikiye ayrılır. Sonuçlar hakkında çıkarımlarda bulunmak üzere seçilen yapay öğrenme yönteminin modeli eğitim kümesi ile eniyiledikten sonra test kümesi ile daha önce kullanılmayan örnekler üzerindeki başarısı test edilir.

Yapay öğrenme Şekil 2.2'deki biçimde gerçekleşmektedir. Gözetimli yöntemde sonuçlar bilindiğinden tahmine göre hata hesaplanır. Bulunan hata modelin değişkenlerini eniyileme yöntemleri ile iyileştirilerek hatanın azaltılması sağlanır. Burada aşırı

öğrenmeden kaçınmak için bazen eğitim ve test kümesi dışında değerlendirme kümesi bırakılır. Değerlendirme kümesi model işlevinde kullanılmamakta, tahmin başarısının genele yayılması ve test kümesinde daha başarılı olunması için kullanılmaktadır. Değerlendirme kümesinin kullanılmasının amacı eğitim kümesinin aşırı öğrenilmesinin engellenerek başarının genelde artırılmasıdır. Benzer şekilde gözetimsiz öğrenmede modelden beklenen sonuç ile tahmin arasındaki farktan faydalanılarak model güncellenir ve öğrenme gerçekleştirilir.



Şekil 2.2. Yapay Öğrenme

Yapay öğrenmede kullanılan çok çeşitli yöntemler bulunmakta ve her gün literatüre bir yenisi eklenmektedir. Bu yöntemler genel başlıklar altında, istatistiksel yöntemler, öbekleme algoritmaları, Yapay Sinir Ağları (YSA), Çekirdek yöntemleri olarak incelenebilir. Bayes sınıflandırıcıları istatistiksel yöntemlere örnek, K-ortalımalı metotları öbekleme algoritmalarına, Aşırı Öğrenme Makineleri ve Derin öğrenmeyi (filtreli YSA) YSA metotlarına örnek, Destek Vektör Makineleri ve En Küçük Kareler DVM çekirdek yöntemlerine örnek, olarak verilebilir. Çalışmamızda öbekleme ve çekirdek yöntemini kullanan yapay öğrenme algoritmalarından faydalanılmıştır.

2.2.1. Öbekleme Yöntemi

Öbekleme işleminin gerçekleştirilmesi için; ayırt edici bilgiye sahip özelliklerin belirlenmesi, benzerlik ölçütünün seçimi, istenilen öbekleme yapısına uygun algoritmanın uyarlanması, öbeklerin değerlendirilmesi ve yorumlanması gerekmektedir (Theodoridis ve Koutroumbas 2009). Veri hakkında doğru yorumlarda bulunabilmek için benzer duruma ait örnekleri aynı öbekte veren algoritmanın seçilmesi önemlidir. Veri hakkında yeterince bilgi varsa ön bilgiye dayalı, eğitici yöntemler arasından uygun yöntemler seçilebilmektedir. Seçme işleminin kolaylıkla uygulanamadığı durumlar için literatürde gözetimsiz öbekleme algoritmalarının seçimi için önerilmiş yöntemler de (Kwon ve ark. 2018, Mousavi ve ark. 2019) bulunmaktadır.

Tez çalışmasında 2B görsellerin bölütlenmesinde öbekleme yöntemleri arasından k-ortalomalı öbekleme seçilmiştir. K-ortalomalı öbeklemenin farklı amaçlar yönelik birçok çeşidi bulunmaktadır. Achanta ve arkadaşları (2010) tarafından önerilen Basit Doğrusal Yinelemeli Öbekleme algoritması benzerlik ölçütü, $O(N)$ işlem yükü ve oluşturduğu bölütlerin sınıflamaya uygunluğu açısından tercih edilen yöntem olmuştur. Süper piksellerde kullanılan öbekleme algoritmaları ile ilgili detaylı bilgi bölüm 2.3.2’de verilmiştir.

2.2.2. Çekirdek Yöntemi

Çekirdek yoğunluk kestirimi, Destek Vektör Makineleri veya genel adıyla çekirdek makineleri, çekirdek tabanlı yöntemlerdir. Çeşitli sınıflama algoritmaları arasından çekirdek tabanlı yöntemlerin tercih edilmesinde farklı sebepler vardır. Temelde istatistiksel yöntemlere dayanması ve aşırı öğrenme probleminin giderilebilmesi bunlardan bazılarıdır.

DVM, Alpaydın’ında (2020) belirttiği gibi hala popülerliğini koruyan metottur. Bunu sağlayan özelliklerden bazılarına bakacak olursak (Alpaydin 2020); Veriye ait özellikler vektör olarak temsil edilmek zorunda değildir. Ayrı sınıfların sınırını temsil etmede kullanılan destek vektörleri adı verilen eğitim örnekleri bulundurmaktadır yani eğitici bir metottur. Destek vektörleri ve çekirdek işlevi kullanılarak sınıf sınırlarını veren ayırıcı

düzlem belirlenebilmektedir. Bu ayırıcı düzlemin genelleme hatası parametrelerle kontrol edilebilmektedir. Ayırıcı düzlemin belirlenmesi konveks eniyileme problemi olarak tanımlanabilmektedir. Popülerliğinin bir diğer sebebi ise derin öğrenme metotlarında bazı katmanlarda kullanılabilmesidir. Ayrıca çekirdek metotları sadece sınıflama değil, bağlanım, aykırı örnek, sıralama ve boyut indirgeme gibi işlerde de kullanılmaktadır (Alpaydin 2020). Tez çalışmasında tercih edilen DVM metodu bölüm 3.4'te detaylı olarak incelenmektedir.

2.3. Süper Pikseller

Süper pikseller, bir pikseller kümesidir. Bu kümenin sahip olması beklenen özellikler ise imgede var olan sınırları takip etmesi, tek parça homojen ve düzenli bölgeler oluşturması ve öncülü olduğu yöntemlerin işlem yükünü azaltmasıdır. Literatürde bu terime 1980'li yıllarda rastlanmaya başlanmıştır. Süper piksel terimine o dönemlerde piksel gruplarını adlandırmada; makalelerde (Holtz ve Holtz 1990, Jain 1984) ve bildirilerde (Ross ve ark. 1983, Schenker ve Cooper 1980) geçmektedir.

Süper piksellerden imge bölütleme (Arbeláez ve ark. 2011), iskelet çıkarma (Levinshtein ve ark. 2013), nesne tanıma (Gould ve ark. 2008), anahtar nokta tespiti (Haas ve ark. 2012), ve ön bölütleme (Diniz ve ark. 2018, Kılıkçier ve Yılmaz 2018) gibi işlemlerde faydalanılmaktadır. Kullanım alanları standart görüntü bölütlemekten (Liu ve ark. 2018), medikal görüntülemeye (Tian ve ark. 2016, L. Zhang ve ark. 2017), veri içeriği bulmadan, hacimsel görüntülere kadar uzanmaktadır (Stutz ve ark. 2018). Farklı amaçlara hizmet eden birçok farklı süper piksel algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar kullanım yerleri ve amaçlarına göre farklı başarımlarını ölçütlerini daha iyi karşılama amacıyla oluşturulmuştur. Kullanılan ölçütlerden bazıları hızlı çalışmak, işlem sadeliği, şekil kontrolü ve alan kontrolüdür.

Süper piksel oluştururken kullanılan farklı yöntemlerde dikkat edilmesi gereken önemli nokta, değişkenlerin doğru seçilmesidir. Süper piksellerin yöntemlerine özel değişkenleri bulunmaktadır. Ancak bu değişkenler genel olarak, iterasyon sayısı, düzgünlük, alan veya süper piksel sayısını kontrol etmektedir. Önemli diğer bir nokta ise oluşturulan süper

piksellerin tekiliğinin sağlanmasıdır. Çoğu yöntemde parçalanmış süper pikseller oluşmaktadır. Sonuca ulaşmadan önce oluşturulan süper piksellerin bağlı bileşen analizi veya benzeri bir algoritma ile tekiliğinin sağlanması gerekmektedir (Stutz ve ark. 2018).

Süper piksel çeşitlerini sınıflamada oluşmuş bir standart bulunmamaktadır. Achanta ve arkadaşları (2012), algoritmaları gradyen tırmanış ve çizge tabanlı olarak ikiye ayırmıştır. Wang ve arkadaşları (2017) ise süper pikselleri çizge ve öbekleme tabanlı diye bölmüşlerdir. Brekhna ve arkadaşlarının (2017) yaptığı sınıflamada ise öbekleme, geometrik akış ve çizge tabanlı olarak üçe ayrılmıştır. Stutz ve arkadaşları (2018) ise havza sınırlama, yoğunluk, çizge, çevrit, yol, öbekleme, enerji eniyileme, dalgacık tabanlı olmak üzere oluşum yöntemlerine göre sınıflamıştır.

Süper piksel çeşitlerinin standart bir sınıflamasının bulunmamasının önemli bir sebebi literatürde önerilmekte olan algoritmaların farklı yöntemlerin birleşiminden oluşuyor olmasıdır. Yapılan farklı sınıflamalarda ortak bazı sınıflar bulunmaktadır; bunlar çizge tabanlı yöntemler ve öbeklemeye dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemlerin dışında havza sınırlama ve enerji eniyileme tabanlı yöntemlerin ise diğer yöntemlere göre daha çeşitli örnekleri bulunmaktadır (Stutz ve ark. 2018).

2.3.1. Çizge Tabanlı yöntemler

Çizge tabanlı süper piksel yöntemleri görüntüleri yönsüz çizgeler olarak alıp kenar ağırlıklarına göre oluşturmaktadır. Çizge tabanlı yöntemlerin görüntü sınırlarını öbekleme tabanlı yöntemlerden daha iyi takip ettiği düşünülmektedir (M. Wang ve ark. 2017). Literatürdeki yöntemlere örnek olarak Ren ve Malik (2003) tarafından önerilen düzgelenmiş kesitler temelli yöntem, Luengo ve arkadaşları (2016) tarafından önerilen SMURFS yöntemi ve Wu ve arkadaşları (2018) tarafından önerilen Minst piksel verilebilir.

Ren ve Malik (2003) tarafından önerilen yöntem çevrit, doku ve benzer özelliklerden faydalanarak çizge tabanlı bir metotla (Shi ve Malik 2000) görüntüyü süper piksellere ayırmaktadır. Süper piksellerin oluşumunda düzgelenmiş kesitler yöntemi kullanılmıştır.

Süper piksel sayısı dışında her hangi bir özelliği belirleyen değişkenler bulunmamaktadır (Stutz ve ark. 2018).

SMURFS yönteminde oluşturulan süper pikseller Markof rasgele alanları ile sürekli olarak bölünmekte ve bölge yakınlık çizgesi tabanlı yöntem ile birleştirilmektedir. Başlangıçta homojen dağılımlı kare süper pikseller yaratılmakta. Her bir birleşme aşamasında sınırlar yeniden şekillenmektedir. Sayı ve boyutu belirleyen değişkenler bulunmaktadır. Fakat sonuç olarak farklı boyutlarda süper pikseller oluşabilmektedir. Homojen bölgelerde daha büyük süper pikseller oluşurken değişimlerin olduğu bölgelerde daha küçük süper pikseller oluşmaktadır (Luengo ve ark. 2016).

MINST piksel en küçük kapsayan ağaç algoritmasını kullanan çizge tabanlı bir süper piksel algoritmasıdır. Oluşturulan süper pikseller kullanılan enerji işlevi nedeniyle farklı boyutlarda olabilmektedir (Wu ve ark. 2018). Enerji işlevinde kontrol değişkenleri bulunmadığından oluşturulan süper pikseller belirlenen merkezlerin sayısı ve konumları ile dolaylı olarak kontrol edilmektedir.

2.3.2. Öbekleme Tabanlı Yöntemler

Öbekleme tabanlı süper piksel yöntemleri genellikle renk benzerliği ve konuma dayalı ölçütlerle pikselleri gruplamaktadır. Pikseller birleştirilirken k-ortalımalı ve benzeri, yinelemeli öbekleme yöntemleri kullanılmaktadır. Öbekleme tabanlı yöntemlerde süper piksel sayısı, düzgünlüğü ve iterasyon sayısı değişkenlerle kontrol edilebilmektedir (Stutz ve ark. 2018). Öbekleme kullanan yöntemlere örnek olarak; doğrusal spektral öbekleme (Li ve Chen 2015), derinlik uyarlamalı (Weikersdorfer ve ark. 2012), basit doğrusal yinelemeli öbekleme (Achanta ve ark. 2012) ve türevleri verilebilir.

Doğrusal spektral öbekleme yöntemi Li ve Chen (2015) tarafından önerilmiştir. Her bir pikselden çıkartılan özellikler K-ortalımalı öbekleme ile sınıflanarak süper pikseller oluşturulmaktadır. Hesaplama karmaşıklığı doğrusaldır. Süper piksellerin sayısını, boyutunu ve sınırları kontrol etmeye yarayan değişkenleri bulunmaktadır (Li ve Chen 2015).

Weikersdorfer ve arkadaşları (2012) RGB-D tipi görüntülerde gerçek zamanlı kullanılmak üzere klasik özelliklerin yanında derinlik bilgisini kullanan bir süper piksel yöntemi önermiştir. Kullanılan yöntem ile merkezlerin seçiminde derinlik bilgisinden faydalanılmaktadır. BDYÖ algoritmasındaki gibi yerel öbeklemeler yapılmakta bu sayede algoritmanın hızlı çalışması sağlanmaktadır (Weikersdorfer ve ark. 2012) .

Achanta ve arkadaşları (2010) tarafından önerilen Basit Doğrusal Yinelemeli Öbekleme algoritması popüler öbekleme tabanlı süper piksel algoritmalarından birisidir. Literatürde, uyarlamalı BDYÖ (Amami ve ark. 2019), manifold BDYÖ (Liu ve ark. 2016, 2018), BDYÖ0 (Diniz ve ark. 2018), gürültüye dayanıklı BDYÖ (Dong ve Zhou 2016), iş kesme üstünlüklü BDYÖ (Neubert ve Protzel 2014) ve BYÖ (Achanta ve Süsstrunk 2017) gibi farklı çeşitleri bulunmaktadır. BDYÖ algoritması ile ilgili detaylı bilgi bölüm 3.2’de verilmiştir.

2.3.3. Havza Sınırlama Tabanlı yöntemler

Havza sınırlama tabanlı bölütleme literatüre görüntüler için Digabel ve arkadaşları tarafından kazandırılmıştır (Wagner ve ark. 2009). Havza sınırlama tabanlı yöntemlere örnek olarak Vincent ve arkadaşları (1991) ve Meyer (1992) tarafından önerilen watershed uygulamaları, yada Machairas ve arkadaşları (2015) tarafından önerilen waterpixel verilebilir. Bu tip süper piksellerde seçilen merkez noktalar bölütleme başarısını etkilemektedir (Stutz ve ark. 2018).

Watershed algoritmasını Vincent ve arkadaşları (1991) gri tonlu görüntülerde ve Meyer (1992) ise renkli imgelerde uygulamıştır. Bu yöntemler analogi ile açıklanmak istenirse havzalar su ile taşırılmakta ve farklı havzalardaki suların birleşim noktaları sınırlar olarak tespit edilmektedir. Bu yöntemlerin kontrol değişkenleri bulunmamakta ve seçilen havza merkezleri sonucu belirlemede rol almaktadır.

Kontrol değişkeni bulunduran türe örnek olarak Machairas ve arkadaşlarının önerdiği Waterpixels yöntemi bulunmaktadır. Waterpixels, havza sınırlama tabanlı uzamsal olarak kontrol edilen gradyanı kullanarak nesne sınırlarının takibi ile süper pikselin düzgünlüğü

arasında seçim sağlayan değişkene sahip bir algoritmadır. Görüntünün gradyanı kullandığından sınır takibini başarı ile yapabilmekte, seçilen merkez sayısı ve konumu ile süper pikseller kontrol edilebilmektedir. Hesaplama karmaşıklığı lineerdir. Ancak seçilen merkezler ve gradyen hesaplama yöntemi oluşturulan süper pikselin başarısını belirlemektedir (Machairas ve ark. 2015).

2.3.4. Enerji eniyileme Tabanlı Yöntemler

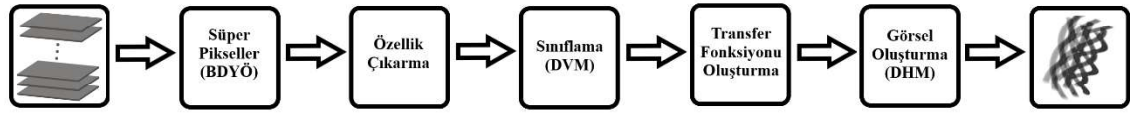
Enerji eniyileme tabanlı yöntemlerde, pikseller sahip oldukları amaç işlevinin (enerji fonksiyonunun) değerine göre gruplanmaktadır. Kabaca oluşturulan süper piksel sınırları, piksellerin amaç işlevlerinin verdiği değerlere göre süper piksellere yeniden atanmasıyla her bir epokta güncellenmektedir. Bu tip yöntemlerde süper piksel sayısı, yineleme sayısı ve düzgünlüğü kontrol etmeye yarayan değişkenler bulunmaktadır (Stutz ve ark. 2018). Örnek algoritmalar olarak SEEDS (Brekhna ve ark. 2017), BF SEEDS (R. Zhang ve ark. 2018) ve CRS (Conrad ve ark. 2013) verilebilir.

Van Den Bergh ve arkadaşları (2012) tarafından önerilen SEEDS, gürbüz ve değerlendirmesi hızlı bir enerji işlevi ile sınırlarını güncellemektedir. Süper piksel oluşumu tepe tırmanma eniyileme algoritmasının kullanıldığı enerji maksimumlaştırma problemi olarak değerlendirilmiştir (Van den Bergh ve ark. 2012, 2015). Algoritmada iki değişkenin ayarlanması gerekmektedir, kontrol için kullanılan değişkenler ile bölütleme başarımı iyileştirilebilmektedir. Bu metodun daha yüksek bölütleme başarımına sahip çeşidi BF SEEDS Zhang ve arkadaşları tarafından 2018’de önerilmiştir. Bu yöntemde SEEDS algoritması uygulanmadan önce görüntü çift yönlü süzgeçten geçirilmektedir (R. Zhang ve ark. 2018).

CRS süper pikselleri Conrad ve arkadaşları (2013) tarafından önerilmiştir. Piksellerin Süper Piksellerde oluşturduğu dokudaki homojenliği arttırmak üzere tasarlanmış bir algoritmadır. Piksellerin özelliklerinin benzerliğinin yanı sıra oluşturdukları dokularda dikkate alınarak Süper pikseller oluşturulmaktadır. CRS süper piksellerin düzgünlüğü tek bir parametre ile kontrol edilebilmektedir farklı kontrollerin gerekli olması durumunda değişkenler ilave edilebilmektedir. (Conrad ve ark. 2013).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarlanan yöntem farklı aşamaların ardışık uygulanmasıyla gerçekleşmektedir. İlk aşamada ön işlemlerde iki boyutlu dilimler süper pikseller metoduyla bölütlenmektedir. Bu sayede ilgi duyulan bölgeye ait kısımları da barındıran bölütler oluşmaktadır. Bu işlemten sonra tüm bölütlerin ayırt edici özellikler çıkartılmaktadır. Sıradaki aşamada çıkartılmış olan özellikler yardımıyla bölütler sınıflandırılmaktadır. DVM ile yapılan sınıflandırma sonucunda hangi bölütlerin İDB içerdiğine karar verilmektedir. Görselleştirme aşamasına İDB olarak karar verilen kısım kullanılmaktadır. Bir sonraki aşamada görsel oluşturmak için DHM tercih edilmiş ve transfer fonksiyonu aracılığıyla görselleştirme gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1’de sistemin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1. Sistemin blok diyagramı

Sistemi incelemek için fantom görüntülerden oluşan bir veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesinde sistemin gürültülü durumlara verdiği yanıtı incelemek için üç boyutlu görüntülerde karşılaşılan iki tip gürültü için fantomlar oluşturulmuştur. Üç temel şekil için yaratılan fantomlardan faydalanarak sınıflama algoritmasının eğitimi gerçekleştirilmiştir. Bu fantomların ve değiştirilmiş biçimlerinin farklı tip ve seviyede gürültü barındıran çok sayıda fantomu oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümün ilk kısmı olan 3.1’de sistemi sınamada kullanılan veri kümesi ve kullanılan gürültü tipleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra bölüm 3.2’de sistemde kullanılan BDYÖ süper piksel algoritması açıklanmıştır. Sonrasında bölüm 3.3’te özellik çıkarmada kullanılan ayırt edici özellikler verilmiştir. Bölüm 3.4’te ise çıkartılan özellikleri sınıflamada kullanılan DVM algoritması tetkik edilmiştir. Devamında bölüm 3.5’te görsel oluştururken kullanılan yöntemler verilmiştir.

3.1. Veri Kümesi

Tezde önerilen yöntemin denenmesi için fantom görüntülerden oluşan bir veri kümesi oluşturulmuştur. Bu veri kümesine farklı tipte ve seviyede gürültüler eklenerek önerilen yöntem üzerinde görselleştirmedeki bozucu etkileri araştırılmıştır. Kullanılmak üzere oluşturulan sayısal fantom görüntüler 256x256x256 boyutundadır. Oluşturulan fantom görüntüleri büyük bir küre içinde cisimler, iç içe geçmiş kesik küreler ve burulmuş silindirlerden oluşmaktadır. Oluşturulan fantomların gürültüsüz durumları için:

Büyük içi dolu bir küre içinde küre ve küçük iki cisim içeren fantomunun hacimsel görüntüsü Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Oluşturulan büyük bir küre içinde iki elips fantomunun hacimsel görüntüsü

Oluşturulan ikinci fantom ise Şekil 3.2’deki gibi içinde küre ancak Şekil 3.2’dekinden farklı olarak üç farklı cisim içermektedir. Fantomunun hacimsel görüntüsü Şekil 3.3’de verilmiştir.



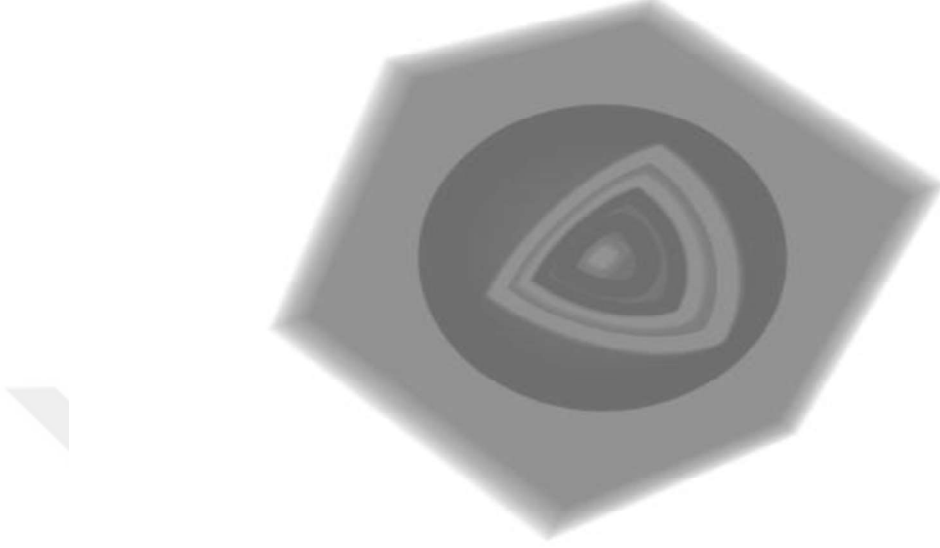
Şekil 3.3. Merkezde bir küre ve içi farklı iki küre içeren küre fantomunun hacimsel görüntüsü

Üçüncü fantom Şekil 3.3'deki fantoma benzemekte ve ondan farklı olarak kürenin içindeki cisimler yerleri değiştirilmiştir. Şekil 3.4'te üçüncü fantomun görseli bulunmaktadır.



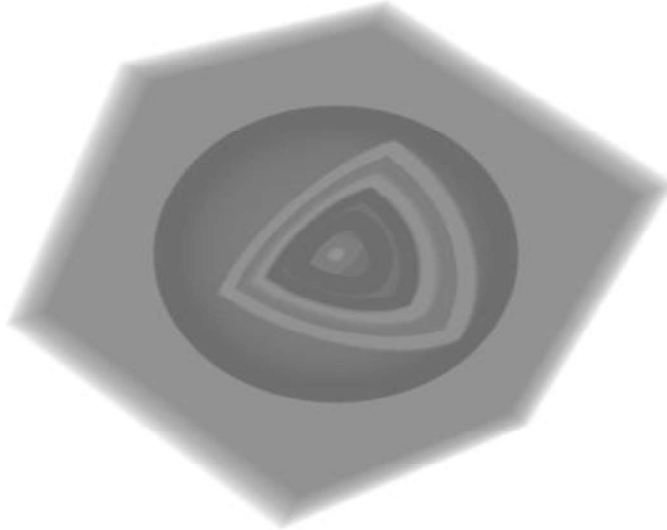
Şekil 3.4. Merkezde bir küre ve yeriyle içi farklı iki küre içeren küre fantomunun hacimsel görüntüsü

Farklı bir durum dördüncü fantomda yaratılmıştır. Burada iç içe geçmiş çok sayıda kesik küreler kullanılmıştır. Yaratılan fantomunun hacimsel görüntüsü Şekil 3.5'tedir.



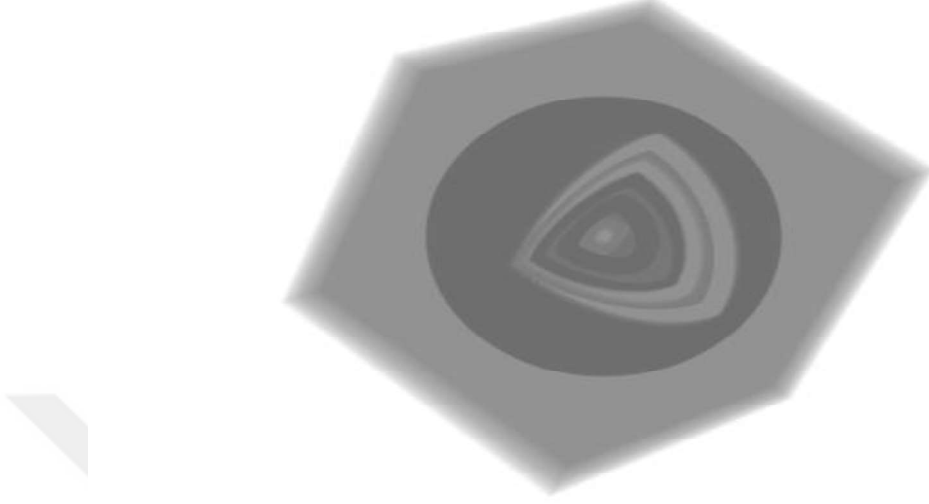
Şekil 3.5. Eşit dilim kalınlıklarına sahip iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü

Beşinci fantomda dördüncü fantomdaki kürelerin çapları değiştirilmiştir. Buda sahip oldukları kalınlıkları değiştirmiştir. Hacimsel görüntüsü Şekil 3.6'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Farklı dilim kalınlıklarına sahip iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü

Altıncı fantom ise dördüncü fantomdaki kürelerden bazılarının elipse çevrilmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 3.7’da bu fantomun görselleştirilmiştir.



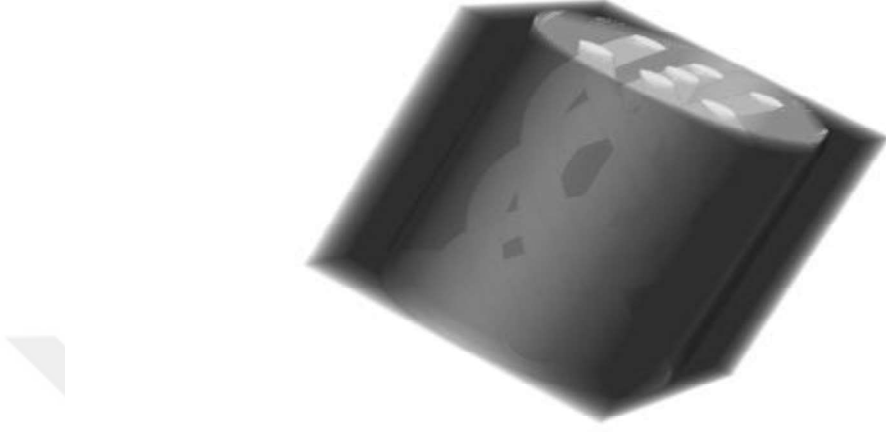
Şekil 3.7. Elips içeren iç içe geçmiş kesik küreler fantomunun hacimsel görüntüsü

Yedinci fantom, burulmuş silindirler ve onları kapsayan bir silindiri bulundurmaktadır. Tasarlanan fantomunun hacimsel görüntüsü Şekil 3.8’de sunulmuştur.



Şekil 3.8. İçinde 9 silindir barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü

Bir sonraki fantomda yedinci fantomdaki burulmuş silindirlerden iki tanesi çıkartılmıştır. İlgili fantomun hacimsel görüntüsü Şekil 3.9’de verilmiştir.



Şekil 3.9. İçinde 7 silindir barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü

Tasarlanan son fantomda eksik silindirlerin yanı sıra burulmuş silindirde kopuk kısımlar oluşturulmuştur. Son fantomunun hacimsel görüntüsü Şekil 3.10’dadır.



Şekil 3.10. İçinde kopuk silindirler barındıran burulmuş silindir fantomunun hacimsel görüntüsü

Benzetimlerde iki farklı tip gürültü kullanılmıştır, bunlar tuz karabiber gürültüsü ve alacalı gürültüdür. Önerilen yöntem, farklı yoğunluktaki tuz karabiber gürültüsü ve farklı değişinti değerlerine sahip alacalı gürültü için test edilmiştir. Bu iki tip gürültünün seçilme sebebi yöntemin gerçek koşullarda ve zorlanmış durumlardaki başarısını test etmektir.

Gerçek koşullarda alınmış ultrason görüntüleri ile elde edilen hacimsel veri kümeleri doğal olarak alacalı gürültü barındırmaktadır (Gai ve ark. 2018). Bu görüntülerdeki alacalı gürültüden kurtulmak için literatürde yapılmış çalışmalar (Gai ve ark. 2018, Rabbani ve ark. 2008, Singh ve ark. 2017) bulunmakla birlikte bazı araştırmacılar tarafından bu gürültünün görüntüdeki dokularla ilgili özellik çıkarmada kullanılabileceği önermiştir (Damerjian ve ark. 2014). Alacalı gürültünün, ultrason ile görüntülemeye karşılaşılan İDB'lerin karakteristik özelliklerini çıkarmada kullanılabilecek bir gürültü tipi olması sebebiyle görüntüden çıkarılmaması istenebilir. Yukarıda bahsettiğimiz nedenlerden ötürü önerilen yöntemi gerçeğe benzer koşullarda denemek adına fantom görüntülerinin alacalı gürültülü durumları veri kümesine eklenmiştir.

Benzer şekilde tuz karabiber gürültüsü önerilen yöntemin gürbüzlüğü test etmek için farklı yoğunluklarda veri kümesine ilave edilmiştir. Tuz ve karabiber tipi gürültü (Sulaiman ve Mat Isa 2010)'in makalelerinde de belirtildiği gibi doğası gereği görüntü üzerinde bulunduğu noktalardaki bilginin kaybolmasına sebep olmaktadır. Gürültülü noktalarda kaybolan verinin yerine uç değerler alması nedeniyle önerilen yöntemin öbekleme ve sınıflama algoritmalarının bu tip durumlardaki başarımının analizi için seçilmiştir.

Yukarıda belirtilen gürültü tiplerinin fantom görüntülere eklenmiş halleri oluşturulmuştur. İki farklı gürültü tipi on dokuz farklı değişinti veya yoğunluk seviyesi için onar kez rasgele oluşturulmuştur. Toplamda dokuz adet 256x256x256 boyutunda gürültüsüz fantom ve 380'er adet bu gürültüsüz fantomlara gürültü eklenmiş halleri oluşturulmuştur. Eklenen alacalı ve tuz karabiber gürültüleri hakkında bilgi sonraki bölümlerde verilmiştir.

3.1.1. Alacalı Gürültü Modeli

Oluşturulan fantom görüntülerde sayısal değerler 0 ve 1 aralığında alınmıştır. Bu nedenle önerilen yöntemi sınama amaçlı oluşturulan alacalı gürültülerin ortalamasının 0 olmasına dikkat edilmiş ve 0.001 ile 0.1 aralığındaki değişinti değerlerine sahip gürültüler oluşturulmuştur. Logaritmik eksenle takip edebilmek adına değişinti değerleri [0,001 0,002 0,003 0,004 0,005 0,006 0,007 0,008 0,009 0,01 0,02 0,03 0,04 0,05 0,06 0,07 0,08 0,09 0,1] olarak seçilmiştir. Alacalı gürültülü görüntüler denklem (3.1) yardımıyla elde edilmiştir.

$$I_{gürültülü} = I + n * I \quad (3.1)$$

Burada I görüntü olmak üzere n düzgün dağılımlı, 0 ortalamalı ve değişinti değeri ise yukarıda belirtilen değerler arasından seçilmekte olan rasgele bir gürültüdür.

Yukarıda belirtilen özelliklere sahip gürültü on dokuz değişinti değeri için onar kez rasgele oluşturulmuştur. Her bir değişinti değeri için yapılan on tekrarın amacı, rasgele oluşturulan gürültünün bozucu etkisinin şans eseri normalden fazla veya az olmasını engellemektir.

3.1.2. Tuz Karabiber Gürültü Modeli

Benzer durum tuz karabiber gürültüsü içinde geçerlidir. Gürültü olarak 0 ve 1 değerleri kullanılmış ve gürültü ortalamasının 0 olmasına dikkat edilmiştir. Eklenen gürültünün yoğunluğu ise %0,1 ile %10 arasında seçilmiştir. Kullanılan yoğunluklar [0,1 %0,2 %0,3 %0,4 %0,5 %0,6 %0,7 %0,8 %0,9 %1 %2 %3 %4 %5 %6 %7 %8 %9 %10] değerine sahiptir. Her bir I görüntüsündeki piksel sayısının belirtilen yüzdesi kadarı 0 veya 1 ile değiştirilir.

İstenilen özelliklere sahip tuz karabiber gürültüsü on dokuz farklı yoğunluk değeri için onar kez rasgele oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yüz doksan adet 256x256x256 boyutunda gürültülü fantom görüntüleri süper piksel ve sınıflandırma algoritmalarının başarımları için kullanılmıştır.

3.2. Basit Doğrusal Yinelemeli Öbeklemeli Süper Pikseller

Achanta ve arkadaşları tarafından önerilen BDYÖ süper piksellerin temeli k -ortalamalı öbekleme algoritmasıdır (Achanta ve ark. 2010). Görüntü üzerinde süper pikselleri oluşturmak üzere belli aralıklarla öbek merkezleri seçilir. Seçilmiş olan bu merkezler etrafındaki sınırlı bir bölge içinde bulunan tüm piksellerin ait olduğu öbeği belirlemek için öbekleme algoritması koşturulur. Her bir merkez için bu işlem tamamlandığında, öbeklerin yeni merkezleri hesaplanır. Yeni öbek merkezleri için algoritma bir daha koşturulur. Bu yineleme öbek merkezleri yer değiştirmesini tamamlayana kadar veya önceden belirlenen bir durma ölçütü sağlanana kadar algoritma çalışmaya devam eder. Algoritma, öbekleme işleminin nasıl gerçekleşeceğini belirlemek için iki kontrol parametresine sahiptir. Bunlar öbekleme işleminin kontrolü için görüntü üzerinde oluşan süper piksel sayısını kontrol eden bir parametre ve oluşturulan süper piksellerin sınır hassasiyetini belirleyen ikinci bir parametredir (Achanta ve ark. 2012).

BDYÖ algoritmasının en iyi yanlarında biri olan basitliği, ayarlanması gereken parametrelerin azlığından ve bu parametrelerin sezgisel oluşundan kaynaklanmaktadır. Diğer bir iyi yanı ise düşük hesaplama karmaşıklığıdır. Öbekleme algoritmasının görüntü üzerindeki tüm pikseller yerine sınırlı bir alanda çalışması, algoritmanın işlem yükünü sınırlamaya yarlamakta ve konum olarak birbirine bağlı olması mümkün olmayan piksellerin boşu boşuna denenmesinin önüne geçmektedir. Bu sayede hesaplama karmaşıklığı $O(\text{öbek sayısı}^{\text{piksel sayısı}})$ yerine $O(\text{piksel sayısı})$ seviyesinde kalmaktadır (Achanta ve ark. 2012).

BDYÖ algoritmasının işleyişini yakından incelediğimizde, süper piksellerin özelleştirilmiş bir k -ortalamalı bir öbekleme algoritması ile oluşturulduğunu görürüz. Algoritmanın sözde kodu aşağıda verilmiştir.

- E ve d 'nin başlangıç değerlerini belirle (sonsuz). İstenilen yineleme sayısını belirle, istenen minimum hata eşik değerini belirle
- Öbek temsilcileri C_k 'ları S mesafe aralıklı olacak şekilde seç

- Bütün öbek temsilcileri için 3×3 'lük komşuluklarındaki minimum gradyanlı pikseli bul ve öbek temsilcilerini bulunan piksel olarak güncelle
- Tüm C_k 'ların $2S \times 2S$ alanı içerisinde yer alan pikseller için D mesafesini hesapla ve $D < d$ ise d mesafe bilgisi değerini D olarak değiştir ve k etiket bilgisini ilgili öbek temsilcisinin numarası olarak güncelle
- C_k öbek temsilcilerinin hepsi için bir önceki adım tamamlandıktan sonra öbeği temsil eden piksellerin düzlemsel ortalamasını alarak C_k temsilcisini güncelle ve E 'yi eski ile yeni C_k arasındaki mesafe olarak güncelle
- Önceden belirlenen yineleme sayısına ulaşana kadar veya $E < \text{eşik değeri}$ olana kadar önceki iki adımı tekrarla

Öbek temsilcisi $C_k = [I_k \ x_k \ y_k]$, k numaralı etiketli öbeğin I_k renk ya da yoğunluk bilgisini, x_k ve y_k konum bilgilerini içermektedir. Sözde kodda, E öbek temsilcilerinin konum olarak son iki yenileme arasında ne kadar yer değiştiğini gösteren değerdir. İlk kez değer atanırken E ve d değerleri için sonsuz değeri atanır. Bahsi geçen d ise her pikselin üye olduğu öbek temsilcisine olan uzaklığıdır. Öbek temsilcisi değişikliği şartı $D < d$ sağlanırsa D mesafesinin hesaplamasında kullanılan (3.2) denkleminin sonucuna göre d güncellenir. Algoritma ilk yinelemesine girmeden önce E , k ve d değerlerinin hepsi güncellenmiş olur.

$$D = \sqrt{\left(\frac{d_y}{m}\right)^2 + \left(\frac{d_k}{s}\right)^2} \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de geçen d_y ve d_k , öbek temsilcisi ile ilgili piksel arasındaki mesafenin hesaplanmasında sırasıyla yoğunluk ve konum farkını belirtmektedir. Yoğunluk farkı denklem (3.3), konum farkı ise denklem (3.4)'e göre hesaplanır.

$$d_y = \sqrt{(I_j - I_i)^2} \quad (3.3)$$

$$d_k = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (3.4)$$

Denklem (3.3) ve (3.4) içinde geçen alt indislerden i sorgulanan pikseli ve j ise öbek temsilcisini belirtmekte kullanılır. Renk veya yoğunluk ölçütünü temsil eden d_y 'de geçen I_i ve I_j ile ilgili pikselin yoğunluk seviyesinden ve öbek temsilcinin ortalama yoğunluk değerinden bahsedilmektedir. Benzer şekilde görüntü üzerindeki mesafe ölçütü d_k 'da geçen x ve y , görüntü üzerindeki x ve y eksenlerindeki konum bilgisini belirtmektedir. Denklem (3.2) ile verilen D mesafesinin hesaplanmasında kullanılan diğer iki öge ise m ve S 'dir. Bu iki ögenin değerleri algoritma çalışmadan önce belirlenen kontrol parametreleri ile oluşturulmaktadır. Oluşturan süper piksellerin piksel değerlerinin homojenliğini ön bilgi olarak verilen m parametresi kontrol etmektedir. Bu parametrenin değeri arttırıldıkça d_k konum ölçütü önem kazanmakta ve piksellerin renk veya yoğunluk içeriklerinden ziyade konumlarına göre bölütlenmesi sağlanmaktadır. Bu sayede m parametresi ile bölütleme sonucunda oluşan süper piksellerin bölge ve sınırları değiştirilebilmektedir. İkinci öge olan S 'in değerinin belirlenmesinde süper piksel sayısını belirten ve ön bilgi olarak verilen bir parametre olan k 'dan faydalanılarak denklem (3.5) ile hesaplanmaktadır.

$$S = \sqrt{\frac{N}{k}} \quad (3.5)$$

Sözde kodda bahsedilen alt indis k her bir pikselin ait olduğu öbeğin etiket numarasını belirtmekte kullanılırken, denklem (3.5)'te verilen k , görüntü üzerinde oluşturmak istenen süper piksel sayısını belirtir. İlgili denklemdeki N ise görüntünün sahip olduğu piksel sayısıdır.

BDYÖ algoritmasında ön bilgi olarak kullanılan değişkenler görüntünün bölütlemesini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Oluşturulacak olan süper piksellerin özellikleri ön bilgi olarak istenen, sınır belirlemeye özgü ağırlık katsayısı m ve süper piksel sayısını belirten k ile belirlenir. İstenirse m parametresi her yineleme esnasında otomatik adapte olacak şekilde hesaplanabilmektedir. Bu sayede algoritma bir tek k parametresi ile

kontrol edilebilmektedir. Adaptif m parametresinin kullanıldığı yönteme BDYÖ0 adı verilmiştir. Bu yöntemde her bir öbek için ayrı bir m parametresi bulunur. Başlangıç değeri olarak küçük bir m sayısı seçilir (örneğin bir) ve sonrasında her bir piksel için d_y mesafesi hesaplanırken üyesi olduğu öbek için m değeri kontrol edilir. Eğer hesaplanan d_y değeri daha var olan m değerinden büyük ise m eşittir d_y olarak güncellenmektedir.

BDYÖ0 yöntemi ile sadece istenen süper piksel sayısının verilmesi yeterli olmaktadır. Öbekleme tamamlandıktan sonra süper piksellerin bütünlüğü bağlı bileşen analizi ile kontrol edilmektedir. Bu sayede süper piksellerin tek bir parçadan oluşması sağlanmaktadır.

Çalışmada BDYÖ0 algoritması iki boyutlu dilimler üzerinde uygulanmıştır. Bu dilimler, birbirine paralel 256 dilime bölünmüş fantom görüntülerinden elde edilmiştir. Her bir dilim için ayrı ayrı süper pikseller oluşturulmuştur. Ön bilgi olarak istenen süper piksel sayısı 256 olarak seçilmiştir. Seçilen sayı ile çapı ortalama 16 pikselden oluşan süper pikseller elde edilmektedir.

Fantom görüntü dilimlerinden süper piksellerin elde edilmesi ile ön işlem aşaması tamamlanmış olur. Bu aşamada İDB'lerin bulunması için oluşturulan süper piksellerin sınıflandırılarak seçilmesi gerekmektedir. Sınıflandırma işleminin gerçekleştirilebilmesi için süper piksellerin ayırt edici özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

3.3. Özellik çıkarma

Görüntü işlemede makine öğrenmesi ve bilgisayarlı görü uygulamalarında kullanılan çeşitli ayırt edici özellikler bulunmaktadır. Özellik çıkarmada dikkat edilmesi gereken unsurlar, da Fontoura Costa ve Marcondes Cesar'ında (2009) belirttiği gibi ayırt edici olmaları, birbirleri ile ilintili olmamaları, az sayıda olmaları, bazı özel dönüşüm ve ölçekleme gibi şeylerden etkilenmemeleri, hesaplanmalarında çok fazla parametre içermemeleridir.

Bu özelliklerden gruplanmış piksellerden özellik çıkarmaya uygun olanlarından faydalanarak görüntü üzerinde oluşturulan süper pikseller için çeşitli ayırt edici özellikler çıkartılmıştır. Bunlardan bahsetmemiz gerekirse kısaca alan, çevre, konum, uzunluk ve yoğunlukla ilgili özellikler olduğu söyleyebiliriz. Süper piksellerden çıkartılan özellikleri detaylıca incelersek bunlar:

- Süper pikselin alanı
- Süper pikselin en uzun ve en kısa çapı
- Süper pikselin düzgünlüğü (bütün alanının konveks alanına oranı)
- Süper pikselin çevresi
- Süper pikselin ortalama yoğunluğu
- Süper pikselin yoğunluğunun aldığı en küçük ve en büyük değer
- Süper pikselin yoğunluğunun standart sapması

Süper pikselin alanı, süper pikseli oluşturan piksellerin toplam sayısıdır. İçerisinde nesne sınırı barındıran süper piksellerin alanlarının homojen bölgelerde yer alanlardan farklı olması beklendiğinden süper piksellerin alanı sınıflandırma kullanılmak üzere ayırt edici bir özellik olarak seçilmiştir.

Süper pikselin en uzun ve en kısa çapı, süper pikselin bölgesi ile aynı normalize edilmiş ikinci merkezi momentlere sahip elipsin en uzun en kısa yarıçapın piksel cinsinden uzunluğu çıkartılarak hesaplanır.

Süper pikselin düzgünlüğü ise süper pikselin alanın dışbükey alanına oranıdır. Çevre bulunurken süper pikselin sınırındaki pikseller sayılır.

Süper pikselin yoğunluğu, piksellerin aldığı değerlerin ortalamasıdır. Benzer şekilde en küçük ve en büyük yoğunluk değerleri süper pikseli oluşturan piksellerin almış olduğu en küçük ve en büyük değerlerdir. Süper pikselin yoğunluğunun standart sapması ise süper pikseli oluşturan piksellerin almış oldukları değerlerin standart sapmasıdır.

Dönüşümler kullanılarak çıkartılan özellikler kullanılmamıştır. Bunun sebebi dönüşümleri kullanmak üzere süper piksellerin nesneyi bir bütün olarak yakalamasına çalışıldığında, sınıflandırmada kullanmaya elverişli olmayan bölütlemelerin oluşması ve başarısının düşmesidir.

3.4. Destek Vektör Makineleri

Orijinali ikili sınıflama yapan DVM (Boser ve ark. 1992) tarafından önerilmiştir. Eğitici bir sınıflandırıcı olan DVM, destek vektörleri olarak adlandırılan örnek veriler yardımıyla sınıflandırma yapmaktadır. Bu örnekler eğitim kümesinden seçilerek, çekirdek fonksiyonunun girişinde kullanılmaktadır. Yeni veriler, destek vektörleri ile çekirdek fonksiyonundan geçirilerek sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma başarısının artırılması için çekirdekte kullanılan değişkenlerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu aşama eğitim ile gerçekleştirilir. Hangi örneklerin destek vektör olacağı ve çekirdek fonksiyonunda kullanılacak katsayılar eğitim sonucunda belirlenir.

Sınıfı bilinmeyen x yeni bir örneği için sınıf tespitinden kullanılmakta olan denklem (3.6)'de verilmiştir. Burada N örnekten oluşan eğitim kümesinde, i . örnek $\vec{o}_i$ vektörü ile temsil edilir. ϕ çekirdek fonksiyonu x ile eğitim örneği arasındaki ilişkiyi verir. Çekirdek fonksiyonundan elde edilen değer α_i lagrange çarpanı ve sınıf bilgisi s_i ile çarpılır. Sınıf bilgisi $s_i \in \{-1, +1\}$ olmak üzere tanımlıdır. Yanlılığı ayarlayan değişken ise y ile gösterilir.

$$f(x) = \text{sign}(\sum_{i=1}^N s_i \alpha_i \phi(x, \vec{o}_i)) + y \quad (3.6)$$

Çekirdek fonksiyonu tüm eğitim örnekleri için lagrange katsayıları ve sınıf bilgisi ile çarpılarak toplanır. Elde edilen değer dengeleyici y ile toplanarak işaret fonksiyonundan geçirilir. Bulunan sonuç artı veya eksi olmasına göre x örneğinin sınıfı belirlenir.

Sonucun doğru bir şekilde edilebilmesi için α_i , y ve ϕ çekirdek parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Dengeleyici katsayı olan y , denklem (3.7) ile

hesaplanır. Denklem (3.7)'de geçen x_+ ve x_- ise +1 ve -1 sınıfına ait iki adet rastgele örnektir.

$$y = (\sum_{i=1}^N s_i \alpha_i (\zeta(x_+, \bar{o}_i)) + \zeta(x_-, \bar{o}_i))) \quad (3.7)$$

Lagrange katsayılarının bulunması için (3.8) optimizasyon denkleminin minimum değerinin bulunmasını gerektirir. Pratikte bu denklem yerine duali olan denklem (3.9) çözülmektedir (Boser ve ark. 1992, Gönen ve Alpaydın 2011, Vapnik 1995).

$$\begin{aligned} \min_{\omega, \gamma, \xi} J(\omega, \xi) &= \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \\ s_i(\omega^T \varphi(\bar{o}_i) + y) &\geq 1 - \xi_i, i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \max_{\alpha} J(\alpha) &= \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j s_i s_j \zeta(\bar{o}_i, \bar{o}_j) \\ \sum_{i=1}^N s_i \alpha_i &= 0, \quad 0 \leq \alpha_i \leq C, \quad \forall i \end{aligned} \quad (3.9)$$

Bu işlem için yeni bir sınırlama parametresi C bulunmaktadır. Bu parametre ile eğitim aşamasındaki hatanın minimize edilmesi ile sınıflandırıcının genel başarısı arasındaki dengenin korunması amaçlanmıştır. Lagrange katsayıları, eğitim örneklerinin sınıflandırıcıya katkısını vermektedir.

DVM başarısını etkileyen diğer önemli bir etken ise çekirdek fonksiyonudur. Her hangi fonksiyon kullanılmadan önce Mercer koşullarının sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir (Borges 1998). Çekirdek fonksiyonu olarak genellikle doğrusal (3.10), polinom (3.11) veya Gauss radyal baz (3.12) fonksiyonu kullanılmaktadır. Literatürde sınıflama başarımının iyileştirilmesi için farklı çekirdek fonksiyonları üzerine yoğunlaşmıştır. Başarıyı arttırmak adına çoklu çekirdek fonksiyonları ile öğrenme yapılmaya çalışılmıştır (Gönen ve Alpaydın 2011).

$$\zeta(x, \bar{o}_i) = x * \bar{o}_i \quad (3.10)$$

$$\zeta(x, \bar{o}_i) = ((x * \bar{o}_i) + a)^b \quad (3.11)$$

$$\zeta(x, \bar{o}_i) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x - \bar{o}_i)^2\right) \quad (3.12)$$

Çekirdek seçimi ve optimizasyon işlemi ardından α_i katsayısı sıfırdan farklı örnekler destek vektörleri denir. Optimizasyon için kuadratik programlama, ardışık minimal optimizasyon gibi değişik çözüm önerileri bulunmaktadır. En küçük kareler yöntemi ile çözümü de bulunmaktadır (Suykens ve Vandewalle 1999).

Denklem (3.6) incelendiğinde sınıflama sonucunun iki sınıf ile sınırlı olduğu görülmektedir. Çoklu sınıflama yapabilmek için karar ağaçları, bire karşı hepsi ya da bire bir sınıflama veya benzeri yöntemler kullanılmaktadır.

DVM genel çalışma prensibi örnek uzayına bir boyut daha eklemektedir. Bu sayede yeni eklenen ekseninde örnekler sınıflarına göre örnekler eksenin pozitif veya negatif kısmında konumlandırmaktadır. Sınıfı bilinmeyen veriler denklem (3.6) yardımıyla sınıflandırılmış olmaktadır.

Çalışmada DVM algoritmasının girişine süper piksellerden çıkartılan özellik vektörü uygulanmıştır. Çekirdek olarak denklem (3.11) kullanılmıştır. Aşırı öğrenmenin önüne geçmek için çekirdek ve C parametrelerinin optimize edilmesi gerekmiştir. Süper piksellerin sınıflanması ile görselleştirme öncesi işlemler tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra İDB hacminin görselleştirilmesi gerekmektedir

3.5. Görselleştirme yöntemi

İDB'nin bulunması sayesinde alakasız kısımlar görselleştirme sürecinden çıkartılarak transfer fonksiyonuna etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Saçılmalar ve yansımaların hesaba katılmadığı görsel sıralamalı bir DHM yöntemi kullanılmıştır. Voksellerin aldıkları değere göre saydamlıkları da hesaba katılarak görseller denklem (3.13)'e göre oluşturulmuştur.

$$I_{2B}(x, y) = \sum_{i=0}^n I_{3B}(s_i) \prod_{j=0}^n \alpha_j \quad (3.13)$$

Burada $I_{2B}(x, y)$ oluşturulan 2B görseldeki pikseli, $I_{3B}(s_i)$ üç boyutlu veriye ait noktaları, s_i 2B görseldeki pikselde kullanılan ışının 3B ortamda geçtiği vokselleri ve α_j bu voksellere ait opaklık değerini temsil etmektedir (Emsenhuber 2008). Bu tip görselleştirmelerde voksellerin ışık kaynağı olduğu varsayılmakta ve her birinin renk ve saydamlıkları hesaba katılarak görselleştirilmektedir. Yöntemin görselleştirme mantığı hakkında farklı açıklamalarda (Drebin ve ark. 1988, Luo ve Dingliana 2015, Sabella 1988) bulunmaktadır. Görselleştirme aşamasında voksellerin saydamlık ve renk değerlerinin atanması için 1B transfer fonksiyonu kullanılmaktadır.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Saydam olmayan nesnelerin içinin 3B görselleştirilmesi problemine iki farklı görselleştirme yöntemiyle çözüm önerilmiştir. İlki ilgi duyulan bölgelerin sınırlarının bulunması ve bu bölgelerin yüzeylerinin görselleştirilmesi üzerinedir. İkincisi ise ilgi duyulan bölgelerin hacimsel olarak görselleştirilmesine dayanır.

Yüzey görselleştirme yöntemlerinin başarısı iki boyutlu imge kriterlerinden faydalanarak ölçülebilmektedir. Üç boyutlu imgelerde kullanılan kriterler hakkında detaylı literatür taraması (Taha ve Hanbury 2015) çalışmasında bulunmaktadır. Genellikle literatürde önerilmiş görüntü bölütleme kriterleri, üç boyuta adapte edilerek İDB yüzeyine kıyaslanmaktadır. Kullanılan kriterler (Yeghiazaryan ve Voiculescu 2017) çalışmasında da belirtildiği gibi genel olarak örtüşme, hacim ve mesafe olarak gruplanabilirler. Literatür de var olan kriterler hakkında detaylı bir tarama (Taha ve Hanbury 2015) çalışmasında bulunmaktadır.

Örtüşme kriterlerinden en çok Dice benzerlik katsayısı (Dice 1945) kullanılmaktadır. Çoğunlukla biyomedikal alanda radyologlarca kullanılmaktadır (Fasihi ve Mikhael 2016). Dice benzerlik katsayısı tahmin edilen bölge ile İDB keşişimlerinin, hacimleri toplamının yarısına oranıdır. Simetrik hacim farkı ise Dice benzerlik katsayısının birden çıkarılmış halidir. Diğer bir benzerlik kriteri, tahmin edilen bölge ile İDB keşişimlerinin, birleşimlerinin hacimlerine oranı olan Jaccard benzerlik katsayısıdır (Jaccard 1912). Hacimsel örtüşme hatası ise Jaccard benzerlik katsayısının birden çıkarılmış halidir.

Alan hata oranı (AHO) kriteri ise algoritma ile bulunan alan ile gerçekteki alanı arasındaki farka dayalıdır ve hesaplanması
$$\frac{(\text{Algoritma ile Bulunan Alan} \cup \text{Gerçekteki Alan}) - (\text{Algoritma ile Bulunan Alan} \cap \text{Gerçekteki Alan})}{\text{Gerçekteki Alan}} * 100$$
 şeklindedir (Kocaoğlu ve ark. 2007).

Bu kriterlerin dışında benzerlikle ilgili makine öğrenmesi ve istatistiksel işaret işlemede de kullanılan hata matrisinin elemanları olan gerçek pozitif (GP), gerçek negatif (GN), yanlış pozitif (YP), yanlış negatif (YN) oranları kullanılmaktadır (Fawcett 2006).

Bu bilgilerle oluşturulan duyarlılık kriteri, istenmeyen bölgelerin bölütlemenin içinde kalmasını hesaba katmazken, kesinlik kriteri ise İDB içinde tespit edilemeyen bölgeleri hesaba katmamaktadır.

Hacim tabanlı kriterlerde, göreceli hacim farkı, mutlak hacim farkı, hacim benzerliği gibi farklı isimler altında benzer tanımlamalar bulunmaktadır. Yapılan tanımlamalar genellikle YN, YP, GP üzerinden türetilmektedir. Hacim benzerliği kriterinin tanımını Taha ve Hanbury (2015) $1 - \frac{|YN-YP|}{2GP+YP+YN}$ şeklinde ve Kavur ve ark. (2020) ise $\frac{GP}{GP+YP+YN}$ olarak tanımlanmıştır. Göreceli hacim farkı tanımı ise Yeghiazaryan ve Voiculescu (2017) tarafından $\left| \frac{|YP|-|YN|}{GP+YN} \right|$ olarak verilmektedir. Tanımlamalar incelendiğinde örtüşme kriterlerinden farklı olduğu ve tek başlarına doğru bir değerlendirme için yeterli olmadıkları, hataları tam olarak ifade edemedikleri görülmektedir.

Mesafe kriterleri konturun önemli olduğu ya da İDB imgenin bütünün içerisinde küçük bir hacim kapladığı durumlarda kullanılmaktadır (Taha ve Hanbury 2015). Bu değerlendirmelerde çoğunlukla Hausdorff mesafesi ve ortalama Hausdorff mesafesi tercih edilmektedir. T tahmin vte G gerçek İDB voksellerin kümesi olmak üzere, Hausdorff mesafesinin tanımı;

$$\text{maksimum}_{t \in T} (\text{maksimum}_{g \in G} (\text{minimum}_{t \in T} \|t - g\|), \text{maksimum}_{g \in G} (\text{minimum}_{t \in T} \|g - t\|))$$

ve ortalama Hausdorff mesafesi tanımı ise;

$$\text{maksimum}(\frac{1}{N} \sum_{g \in G} (\text{minimum}_{t \in T} \|g - t\|), \frac{1}{N} \sum_{t \in T} (\text{minimum}_{g \in G} \|t - g\|))$$

olarak verilmektedir (Taha ve Hanbury 2015). Mesafeler ölçülürken tahmini yüzeyi tanımlayan noktalara en yakın gerçek yüzeyi tanımlayan nokta komşulukları göz önüne alınarak hesaplama yapılmaktadır. Bu tanımın dışında kullanılan metotlara ve uygulama alanlarına göre farklı tanımlamalar yapılabilmektedir (Getto ve ark. 2015). Getto ve arkadaşlarının da (2015) belirttiği gibi yüzey mesafesi ölçütünde tahmini ve gerçek yüzey arasında simetri olmadığında değerlendirmede bazı problemlerin olduğu açıktır. Bunlar, temelde hatalı bölütleme sebebiyle birbiriyle alakalı olmayan tahmini ve gerçek yüzeylerin birbirine yaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

Bu kriterler ile önerilen metotlarla bulunan yüzeyler, İDB gerçekteki yüzeylerine nicelik olarak kıyaslanabilmektedir. Başarı için bir sürü farklı kriter vermek yerine genelde (Kavur ve ark. 2020) çalışmasında olduğu gibi farklı kriterlerin birleşimlerinden oluşan bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu tip değerlendirmelerde bir genel bir standart bulunmamaktadır. Görselin kullanım alanına göre değişiklikler göstermektedir (Getto ve ark. 2015).

Yüzey görselleştirmede yüzey tespit edildikten sonra görselleştirme için yüzeyin renklendirmesi ve saydamlığının seçilmesi yeterlidir. Genel olarak bulunan yüzeyin rengi ve saydamlığı yüzeyin her kısmında aynı alınmaktadır. Birden fazla İDB olan görüntülerde farklı yüzeylere farklı saydamlıklar atanarak görselleştirilebilmektedir. Renk ve saydamlık ataması işlemleri yüzeyin temsilinin doğruluğunu aşırı olarak etkilememekte ve istenildiği gibi kolaylıkla ayarlanabilmektedir. Bu sayede görselleştirme başarısı İDB görünümünü öznel yorumlara dayandırmadan, örtüşme, hacim ve mesafe gibi kriterlerle nesnel olarak değerlendirilebilmektedir.

Bu tip değerlendirme yaklaşımları hacimsel görselleştirmede birebir aynı şekilde uygulanamamaktadır. Hacimsel görselleştirmede İDB ait voksellerin doğru bir şekilde tespiti gereklidir ancak bu tek başına yeterli değildir. Eğer görselleştirirken voksellerin saydamlıkları doğru ayarlanmazsa görselleştirme sonucunda elde edilen görüntüde İDB görülememekte veya yanlış temsil edilmektedir. İDB doğru görselleştirilmesi için ilgili hacimdeki tüm voksellerin değerinin ve konumunu algılayabildiği saydam bir görsel oluşturulmalıdır. Elde edilen görselin başarısı, hacimdeki şekil ve derinlik ile beraber vokselle değerlerinin de doğru olarak algılanmasına bağlıdır. Bu nedenle yüzey başarısı kriterleri görselin değerlendirilmesi için tek başına yeterli olmamaktadır. İDB voksellerin tespitinin ardından görsel için istenilen şekil ve derinlik algısını veren metotlar uygulanmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için öncelikle hacimdeki her bir vokselin saydamlığının transfer fonksiyonu benzeri bir yöntemle tanımlanması gerekmektedir. Saydamlıklar tanımlandıktan sonra ise önem verilen algıyı iyileştirecek metotlar uygulanabilmektedir. Bu işlemlerden sonra görselin temsilinin başarısından söz edilebilir. Ancak burada başarı oransal veya sayısal olmaktan çok önerilen metotların kullanım kolaylığı veya görsel algılamadaki iyileştirmelerdir. Başarı değerlendirmeleri önerilen transfer fonksiyonları ile görsel oluşturmadaki kolaylıklara ya da önceden

oluşturulmuş olan görsellerin iyileştirme öncesi ve sonrası için görsel karşılaştırmalarına dayanmaktadır. İyileştirmelerde, derinlik algısına (Kang ve ark. 2020), şekil algısına, geri beslemeye (Luo ve Dingliana 2015) veya stereo görsellere odaklanılmıştır (Englund ve Ropinski 2018).

Derinlik algısı için stereo görsellerden faydalanılamayan durumlarda görsele derinlikle ilgili ip uçlarının eklenmesi gerekmektedir. En temel ip ucundan biri gölgelerdir. Yüzey görselleştirmede gölgelendirme yardımıyla derinlik algısına katkıda bulunulabilirken bu işlem hacim görselleştirmede her zaman tercih edilmemektedir. Bu İDB oluşan gölgelerin iz düşümlerinin hacmin algılanabilirliği açısından istenilmeyen etkilere yol açabilmesinden kaynaklanmaktadır. Derinlik algısı için diğer ip ucu ise odaklanmadır. Derinlik algısı yaratmak için insanların görsel sistemindeki lens etkisinin taklit edilmesi amaçlanmıştır. Odaklanılan nokta dışındaki kısımlar bulundukları konuma göre bulanıklaştırılarak ilgi duyulan noktanın derinliği hakkında ip uçları yaratılması amaçlanmaktadır. Bu konu Kang ve ark. (2020) belirttiği gibi çoğunlukla yüzey görselleştirme için araştırılmış, hacim görselleştirmede ise bakir kalmış bir alandır.

Benzer bölgelerin birbirine etkisini sınırlandırarak hacimdeki değişikliklere ait sınırların algılanmasını kolaylaştıran bir yöntem (Ma ve Entezari 2018) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde şekil algısının iyileştirilmesi için transfer fonksiyonu oluşturulurken değişen bölgelerin algılanmasını kolaylaştıran görünürlük fonksiyonu kullanılması önerilmiştir. Ancak bu metot ile farklı İDB görselleştirmek istendiğinde benzer hacimlere sahip olması gerekmekte ve sonuç olarak “görünürlük, her bir vokselin nihai görsele yaptığı opaklık katkısının nicel ölçümü” tanımlanmakta olsa da görselin algılanma başarısı nitel olarak değerlendirilebilmektedir.

Görsel başarı için bir yöntem önerilirken, tek bir etkene odaklanmamalı; farklı bakış açılarının varlığı göz önünde bulundurularak derinlik algısı, transfer fonksiyonu, renklendirme gibi işlemler yapılmalıdır. Bazı görsellerde algılamamanın arttırılması için yeni görselleştirme iyileştirmeleri veya metotları yerine daha basit çözümler kullanılabilir. Örneğin İDB farklı bir açılardan bakılmasıyla istenilen derinlik algısı oluşturulabilir.

Görselleştirilmek istenen İDB görsel olarak tahmin edilemese de ilgili voksellerinin önceden bilinmesi ile transfer fonksiyonunun oluşturacağı görseldeki şekil algısı arttırılabilmektedir. Ayrıca karmaşık İDB için İDB alt bölgelere ayrılarak farklı bölgelerin renklendirmesi değiştirilerek görsel farkındalık arttırılabilmektedir. Transfer fonksiyonları ile görselleştirme aşamasından önce İDB sınıflandırma işleminin yapılmış olması transfer fonksiyonunda görsel haritalama karmaşıklığını azaltmaktadır. Bu sayede görsel olarak gerçekte nasıl olması gerektiği bilinmeyen bölgelerin görselleştirilmesinde tahminlere ve ön yargılara bağımlılık azaltılabilmektedir.

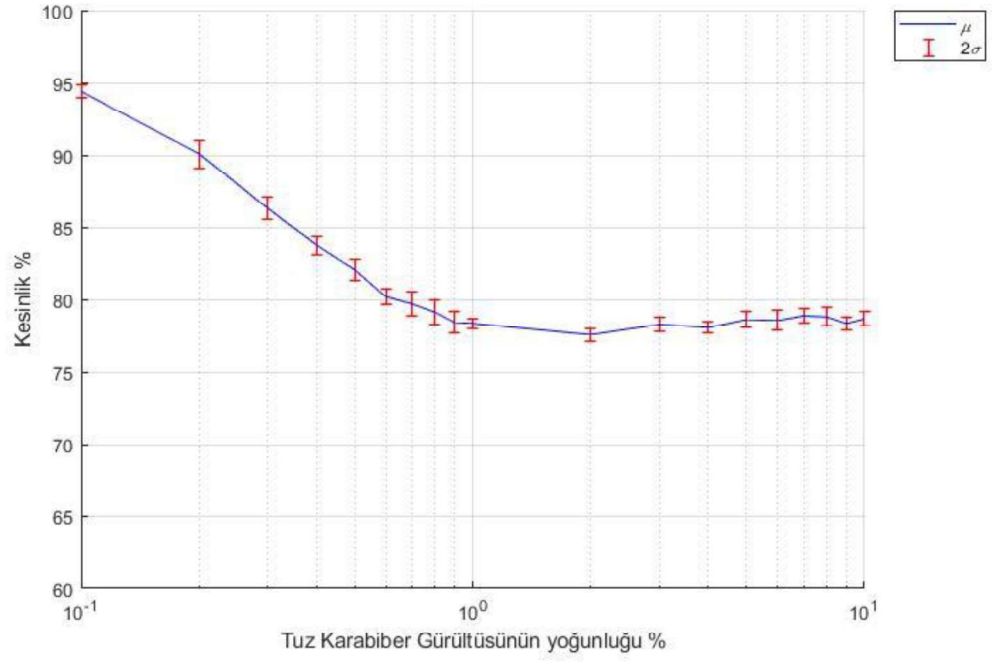
4.1. İlgi Duyulan Bölgelerin Tespiti

Sınıflama algoritması için eğitim kümesinde ana üç fantom verisi Şekil 3.2, Şekil 3.5 ve Şekil 3.8'nin gürültüsüz, %5 yoğunluklu tuz karabiber gürültülü ve 0.05 değişimli alacalı gürültülü halleri kullanılmıştır. Şekil 3.2'e göre eğitilen sınıflandırıcı ile Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te farklı gürültülü durumlar için performansı verilmiştir. Şekil 3.5'e göre eğitilen sınıflandırıcıda Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'da ait gürültülü durumlardaki performansına bakılmış. Yine Şekil 3.8 için eğitilende ise Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'teki gürültülü durumlara bağlı performansı verilmiştir. Önerilen metot sonucunda bulunan İDB'lere ait, kesinlik, özgüllük, duyarlılık, F ölçütü, karmaşa matrisi elemanlarının oranı ve AHO, değerlendirme grafikleri verilmiştir.

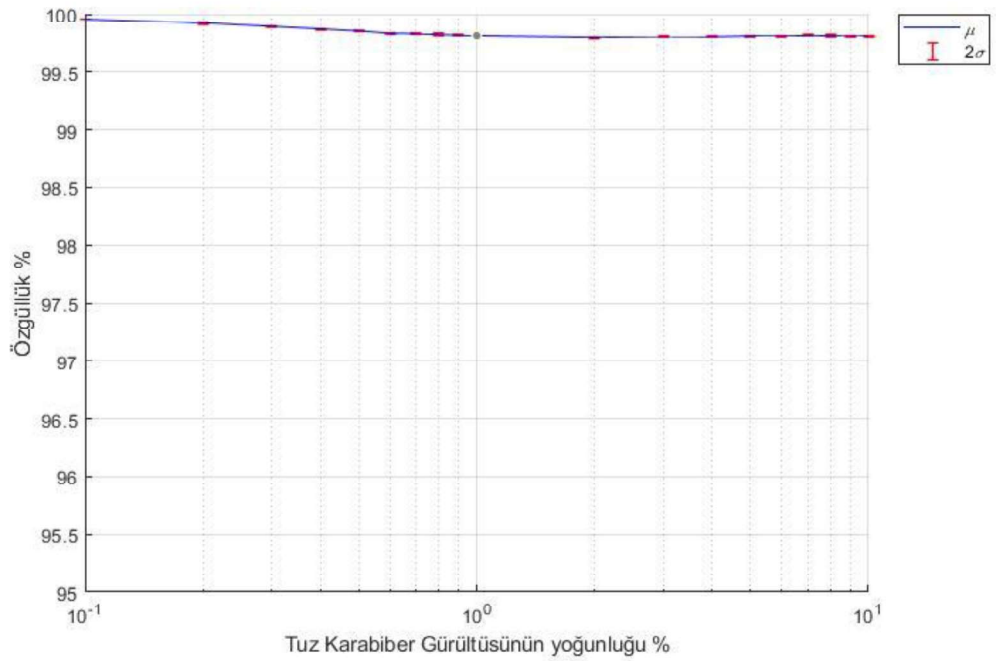
Sırasıyla Şekil 4.1'den Şekil 4.6'ya kadar tuz karabiber gürültülü fantomların Şekil 3.2'e göre eğitilen sınıflandırıcı için performansı verilmiştir. Şekil 4.7'den Şekil 4.12'ye kadar ise alacalı gürültülü fantomlar için performans verilmiştir.

Sırasıyla Şekil 4.13'den Şekil 4.18'ye kadar tuz karabiber gürültülü fantomların Şekil 3.5'e göre eğitilen sınıflandırıcı için performansı verilmiştir. Şekil 4.19'den Şekil 4.24'ye kadar ise alacalı gürültülü fantomlar için performans verilmiştir.

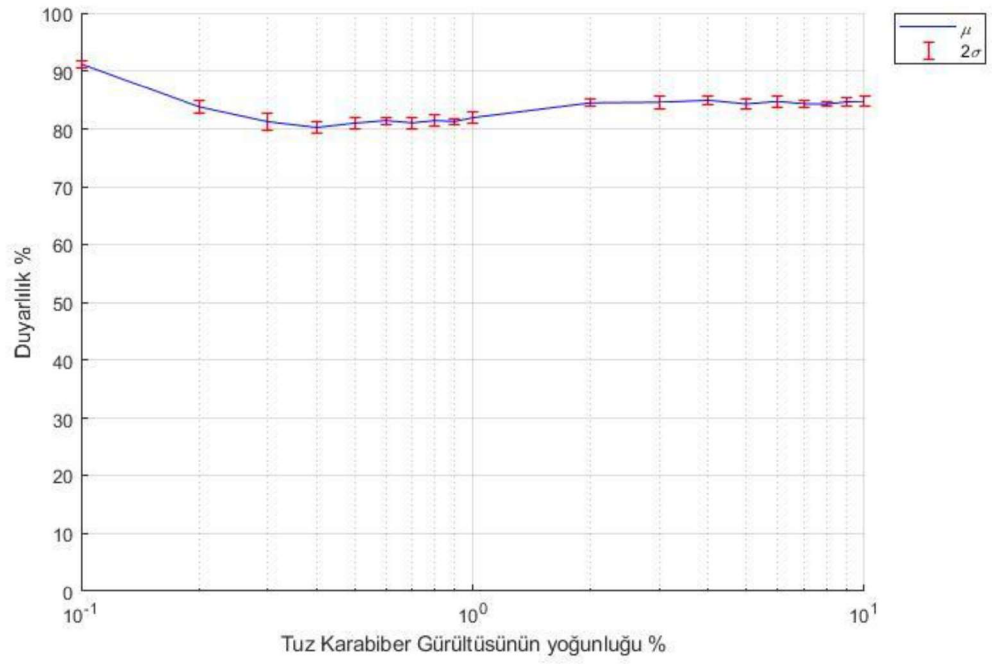
Sırasıyla Şekil 4.1'den Şekil 4.6'ya kadar tuz karabiber gürültülü fantomların Şekil 3.2'e göre eğitilen sınıflandırıcı için performansı verilmiştir. Şekil 4.7'den Şekil 4.12'ye kadar ise alacalı gürültülü fantomlar için performans verilmiştir.



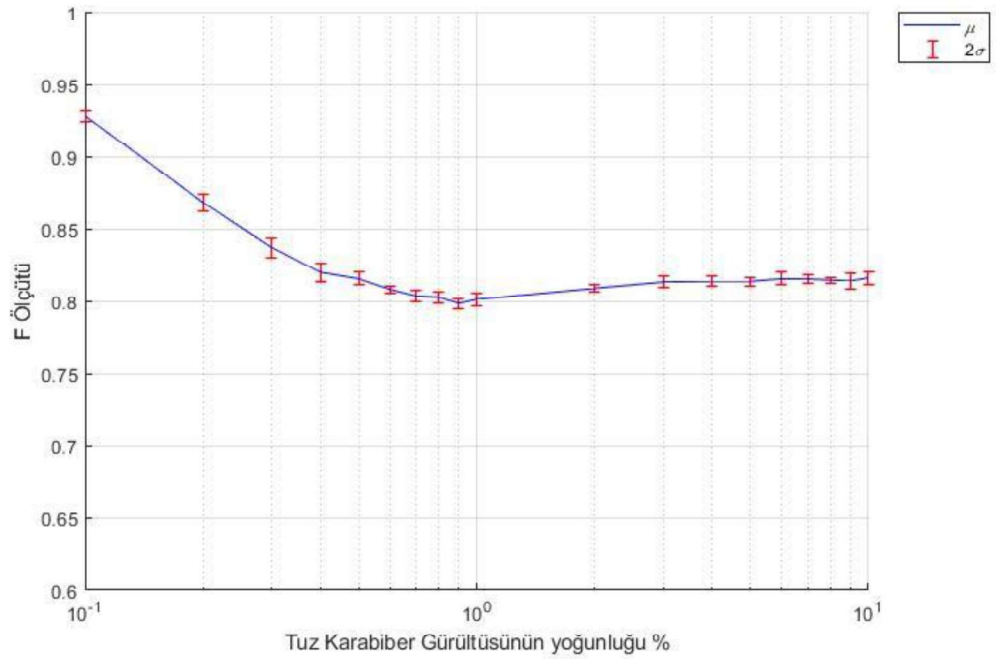
Şekil 4.1. Tuz karabiber gürültüsünün keskinliğe etkisi



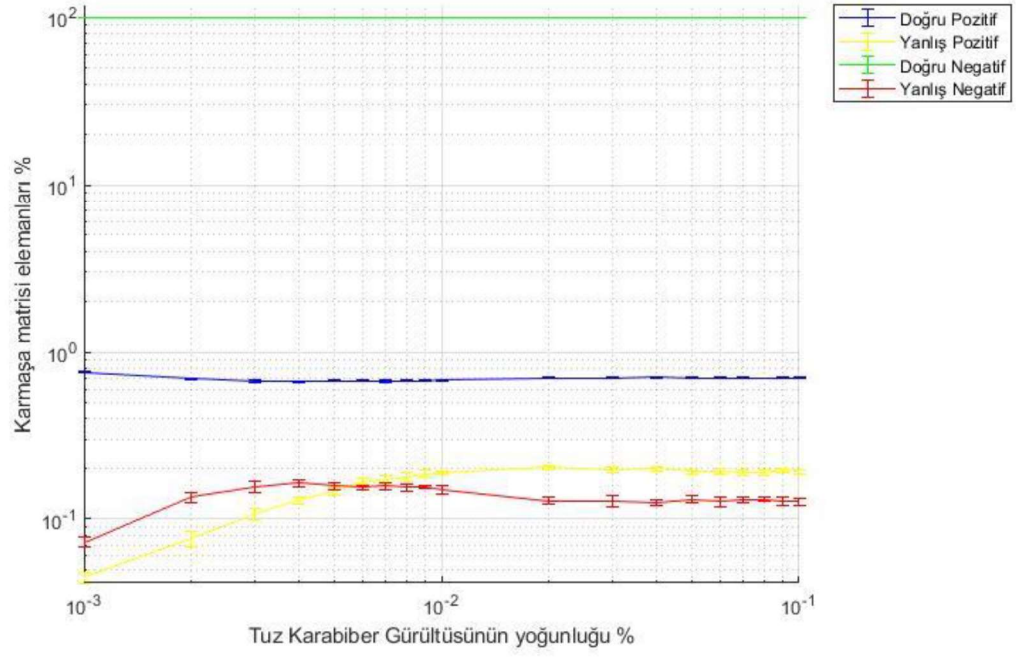
Şekil 4.2. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi



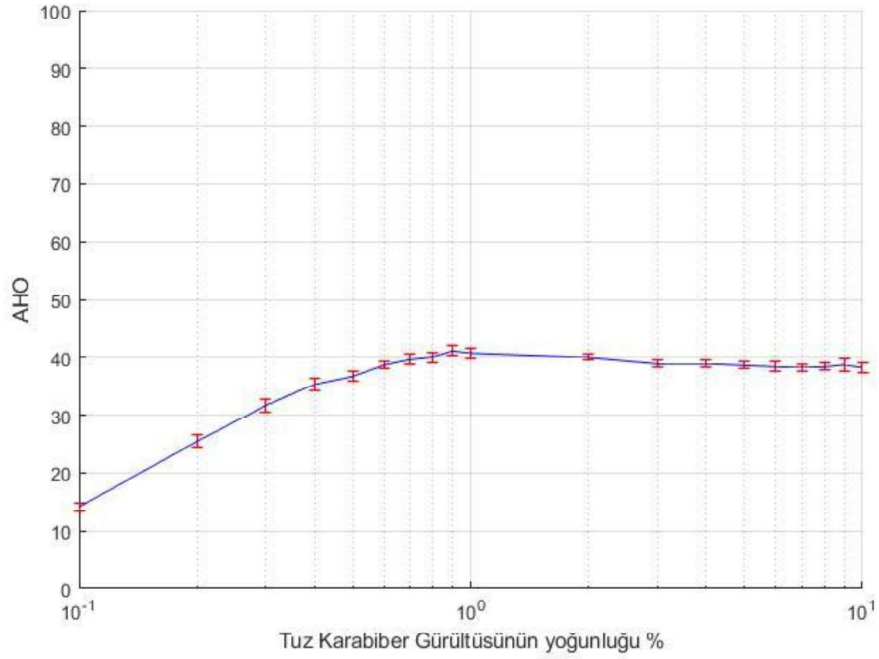
Şekil 4.3. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi



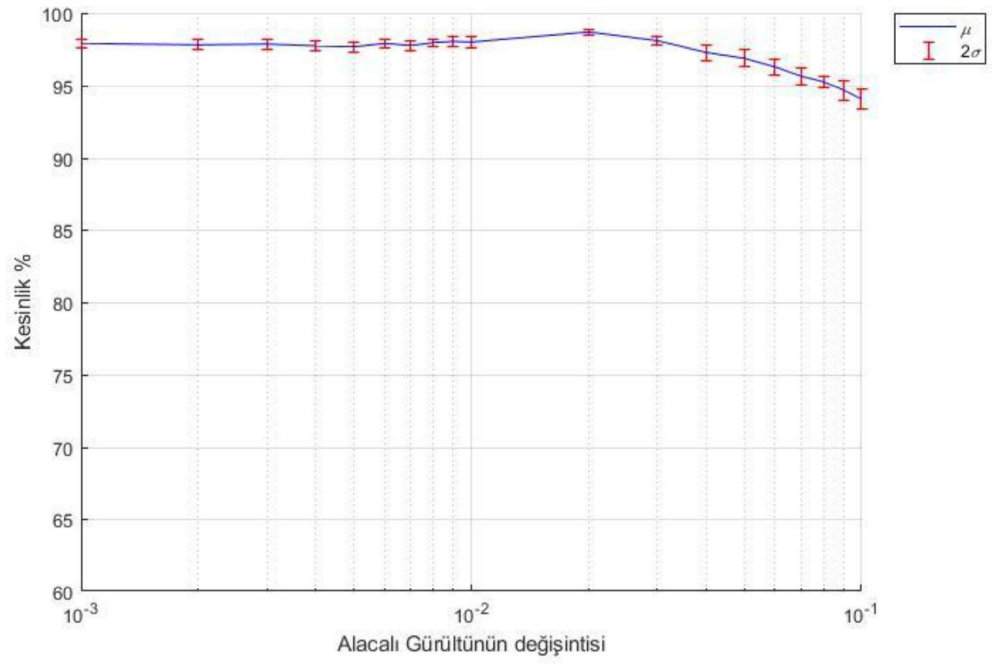
Şekil 4.4. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi



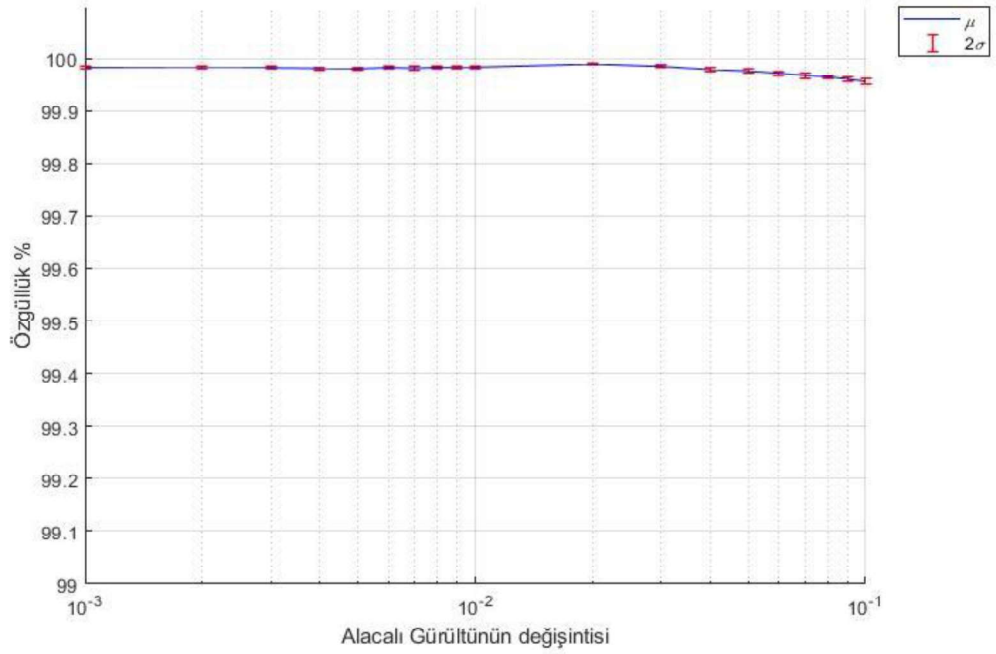
Şekil 4.5. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



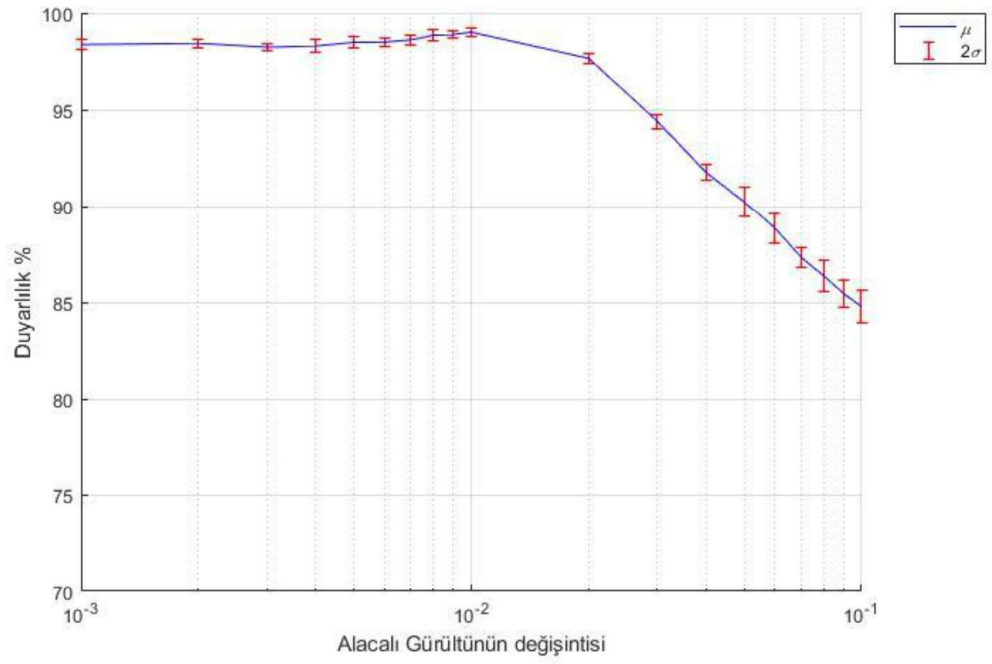
Şekil 4.6. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'na etkisi



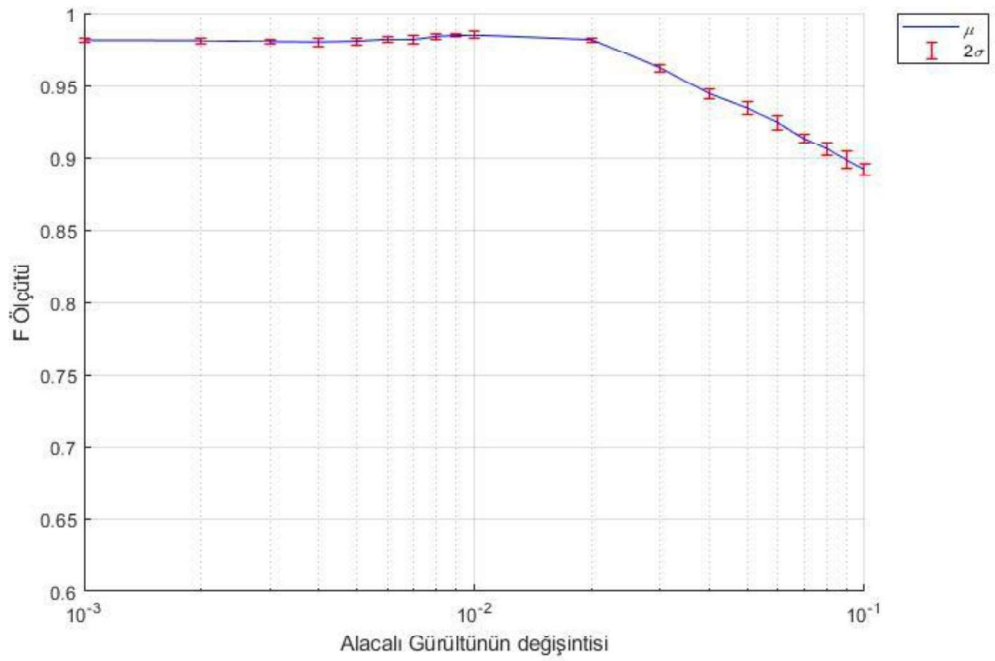
Şekil 4.7. Alacalı gürültü'nün kesinliğe etkisi



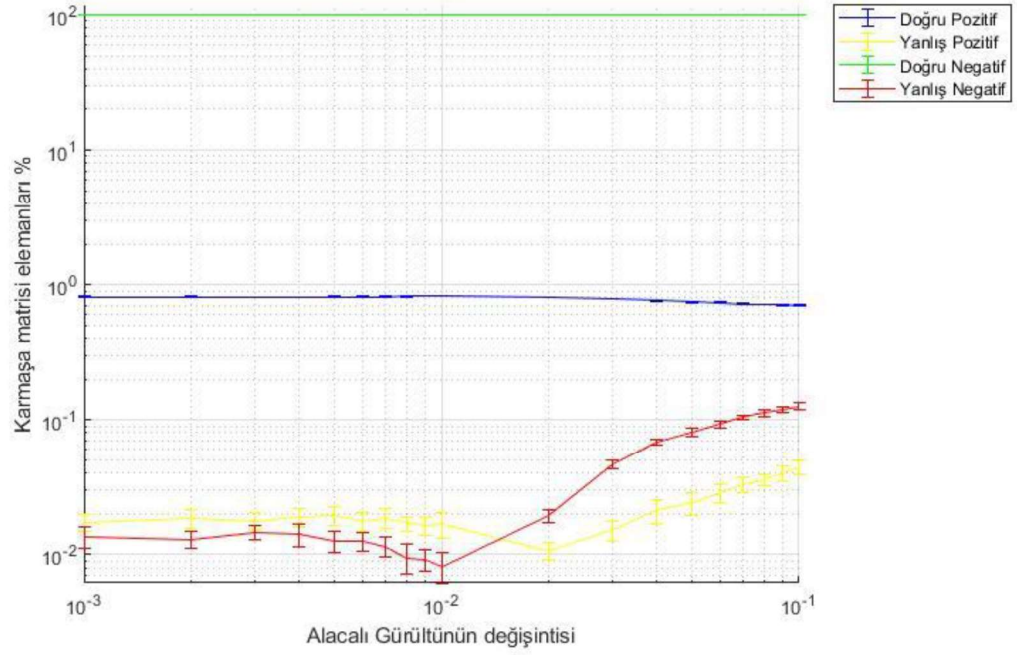
Şekil 4.8. Alacalı gürültü'nün özgüllüğe etkisi



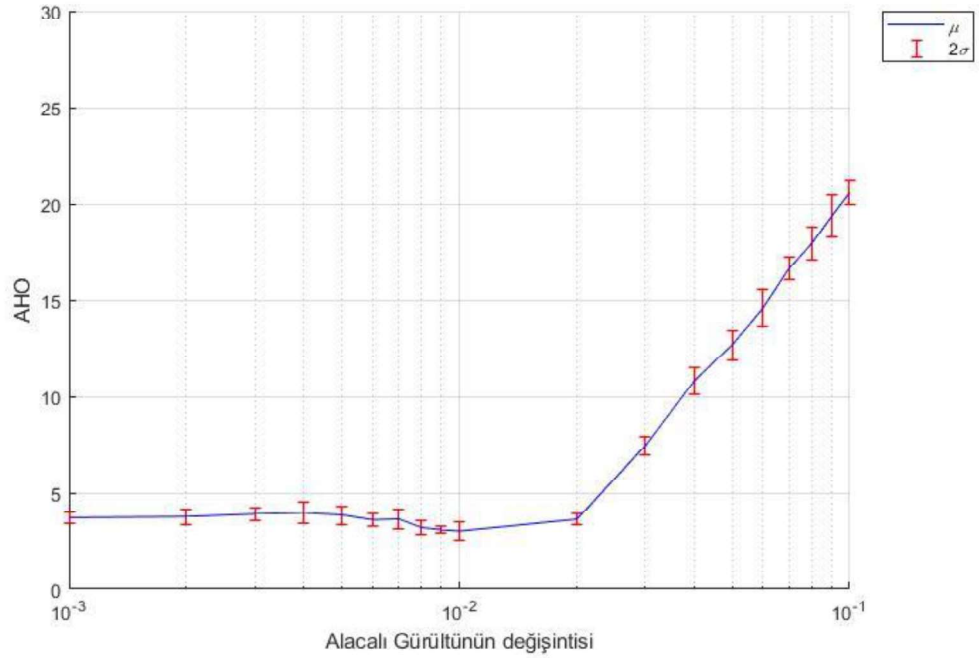
Şekil 4.9. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi



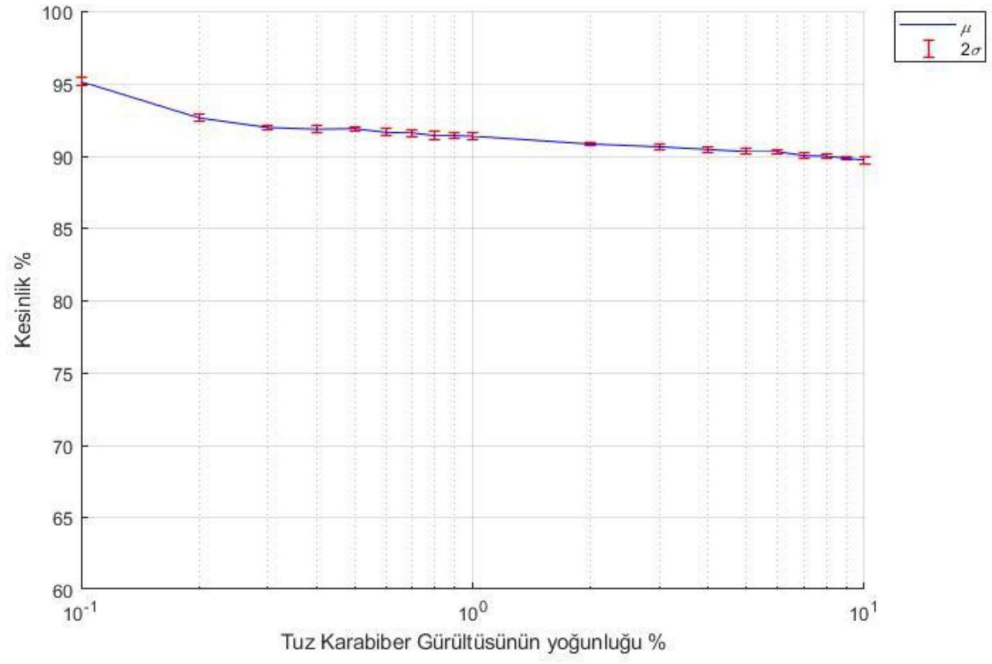
Şekil 4.10. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi



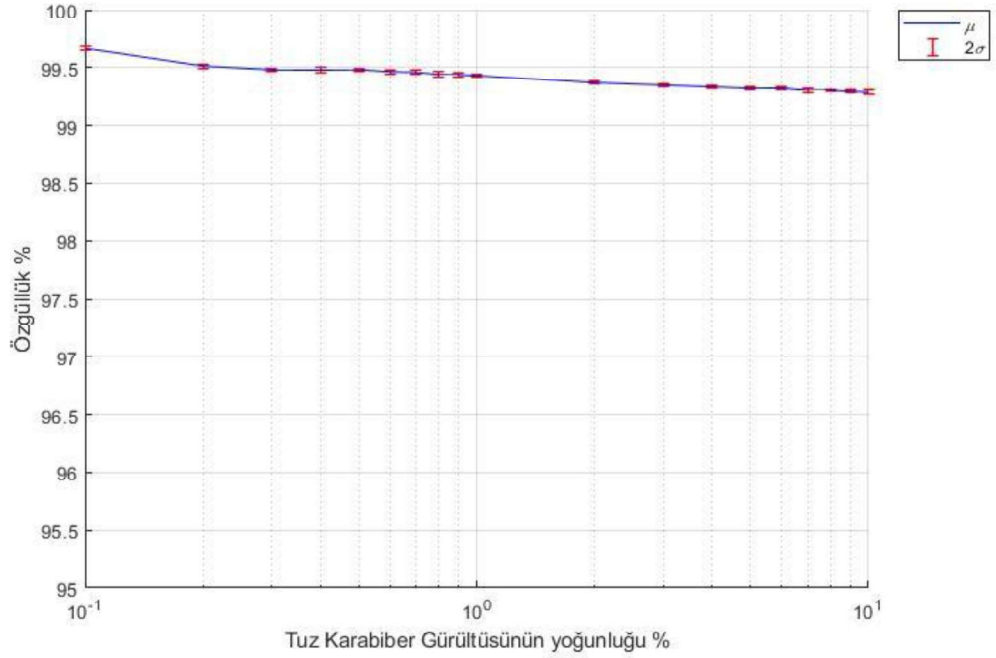
Şekil 4.11. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



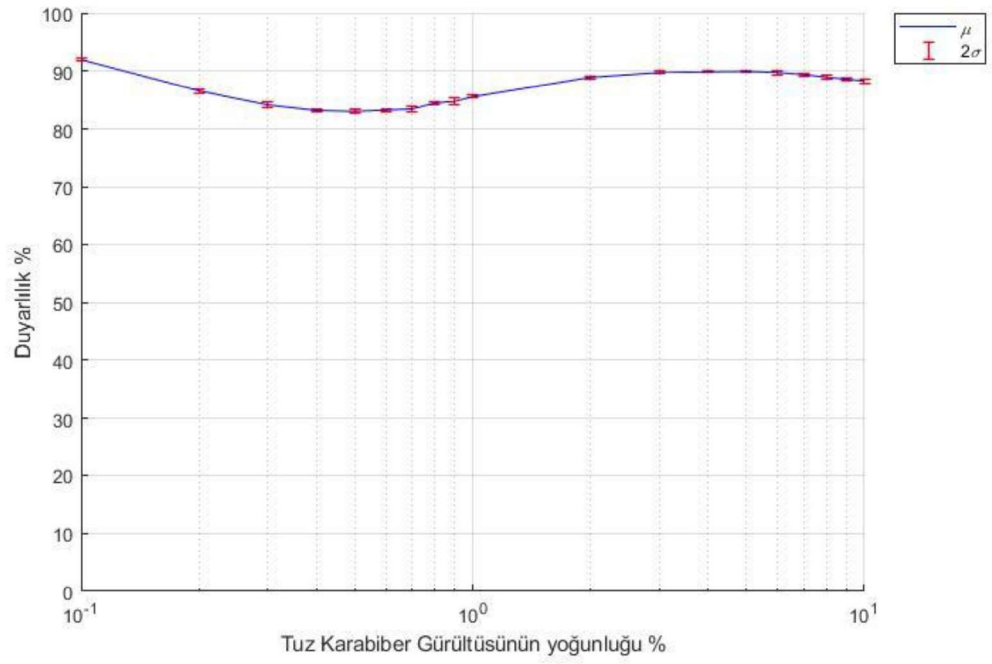
Şekil 4.12. Alacalı gürültünün AHO'nına etkisi



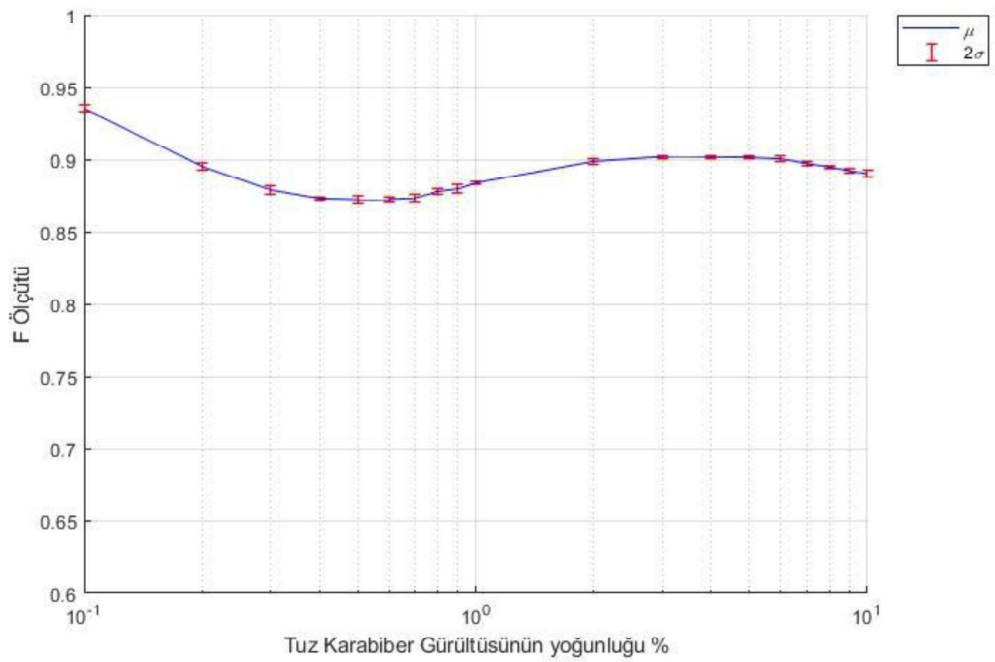
Şekil 4.13. Tuz karabiber gürültüsünün kesinliğe etkisi



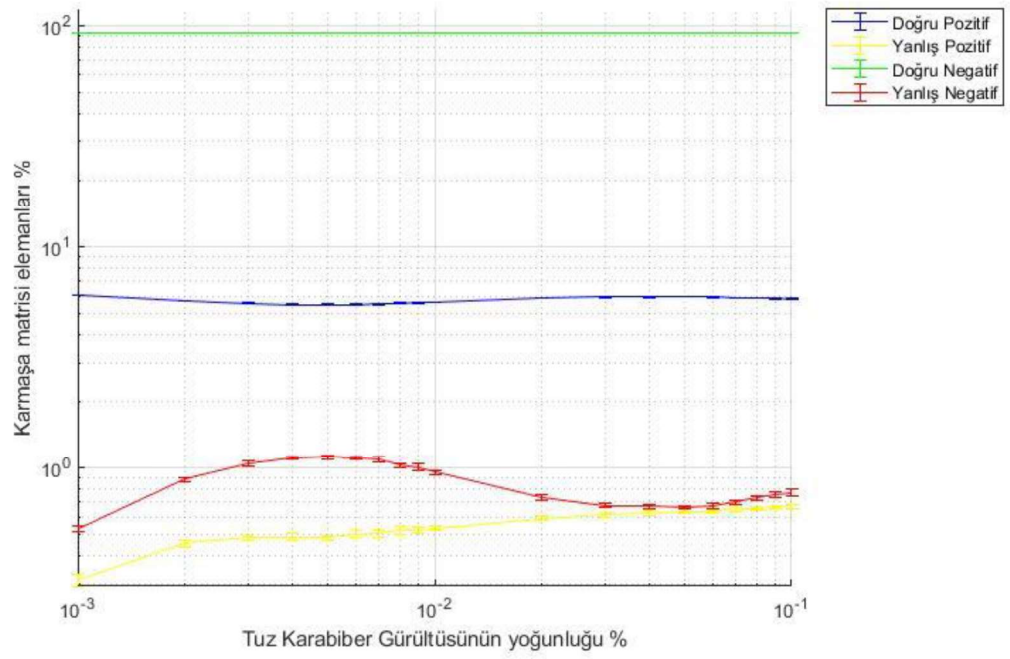
Şekil 4.14. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi



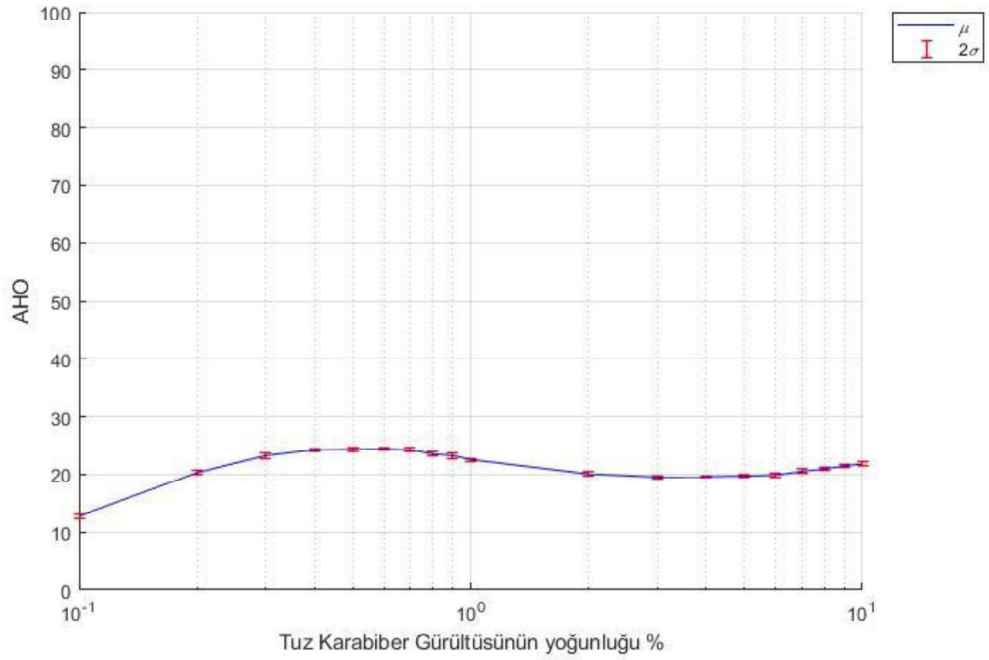
Şekil 4.15. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi



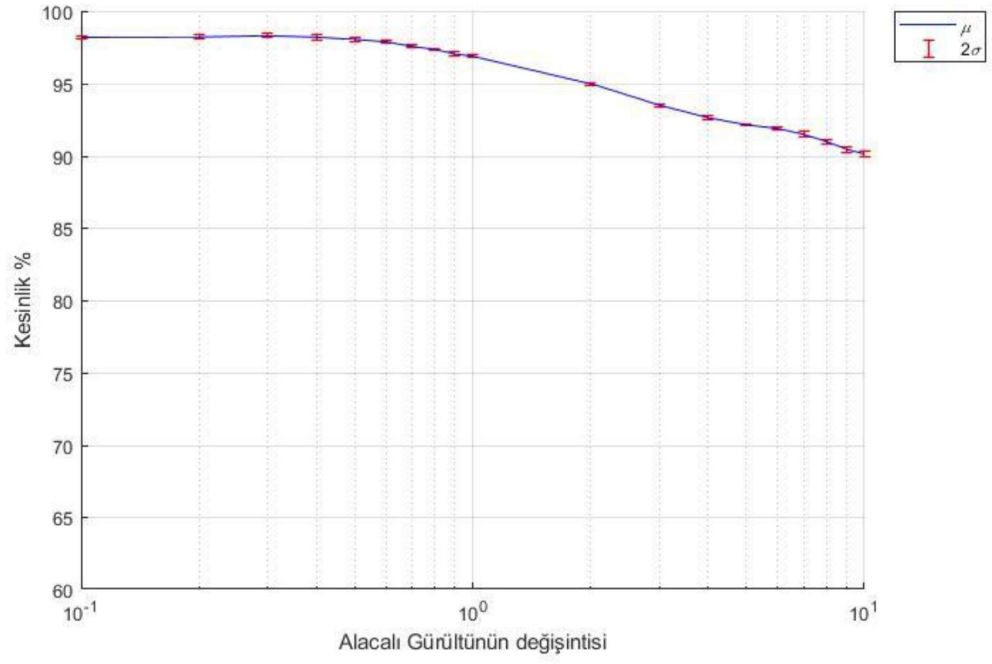
Şekil 4.16. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi



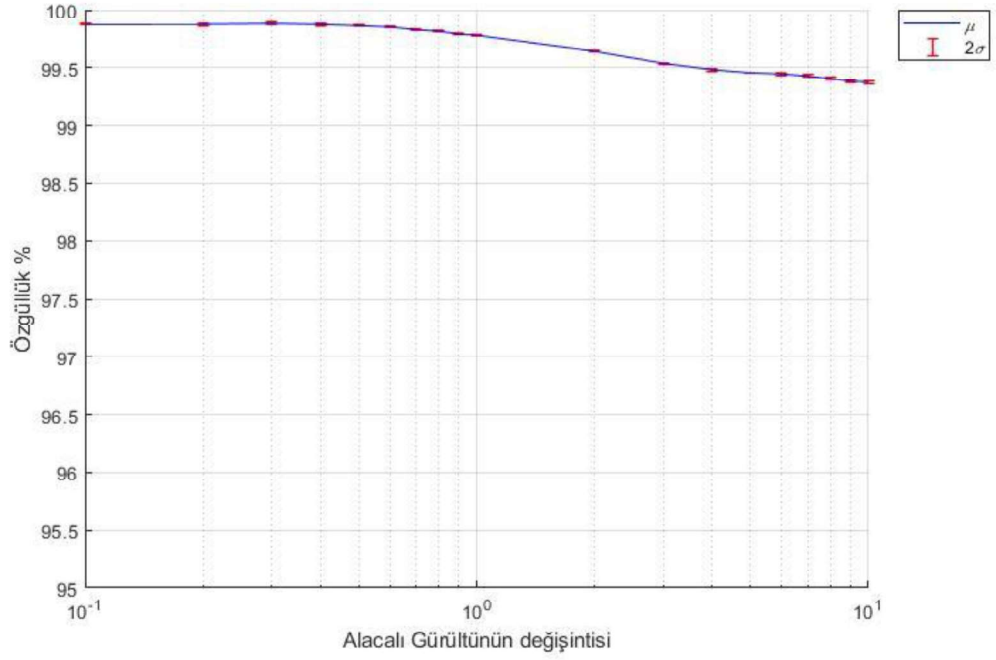
Şekil 4.17. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



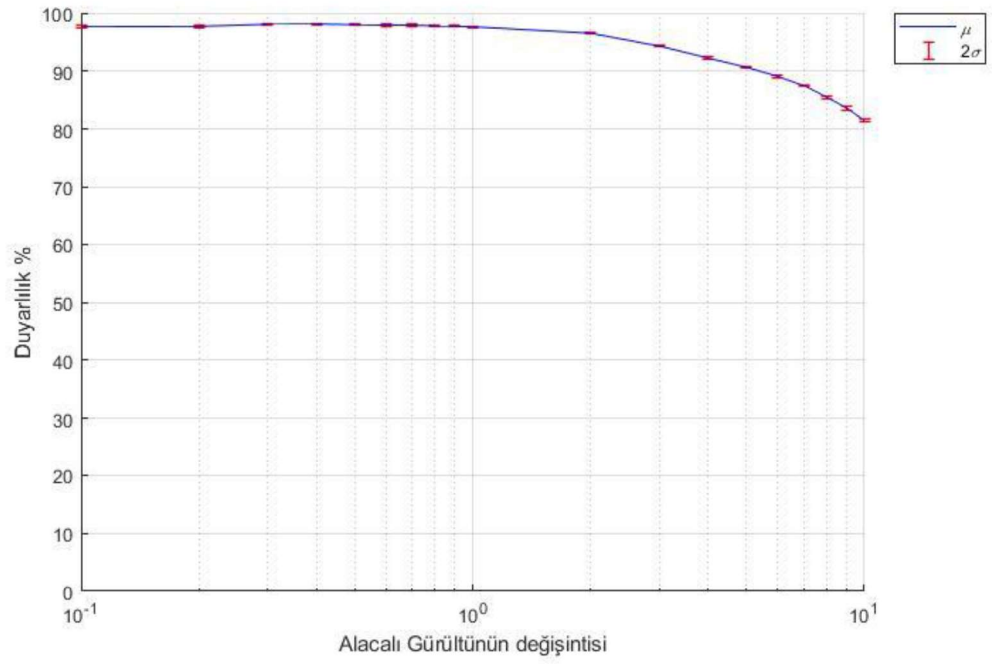
Şekil 4.18. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'na etkisi



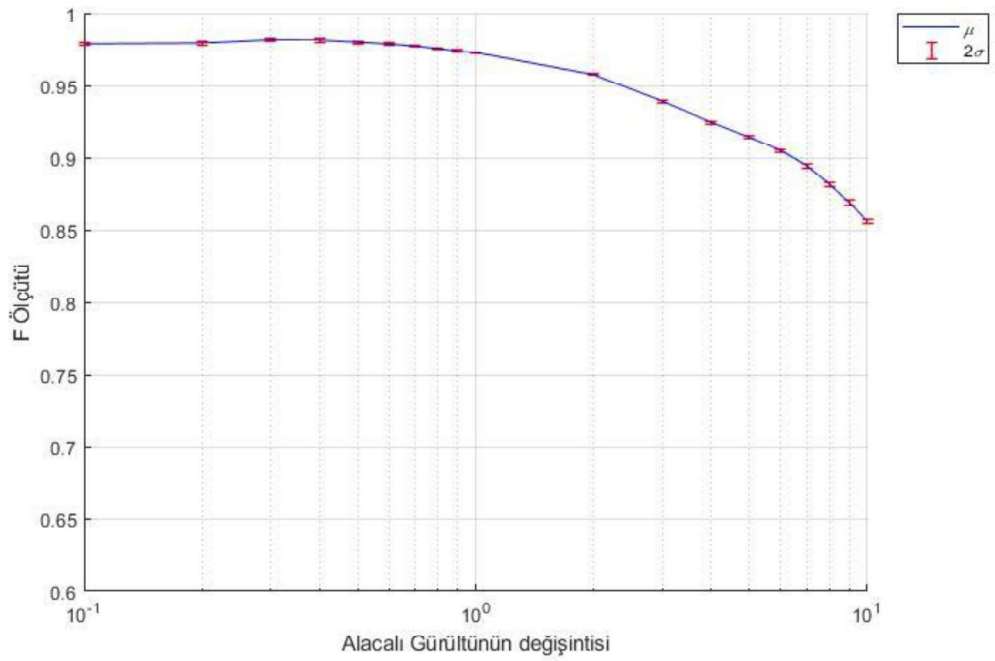
Şekil 4.19. Alacalı gürültünün kesinliğe etkisi



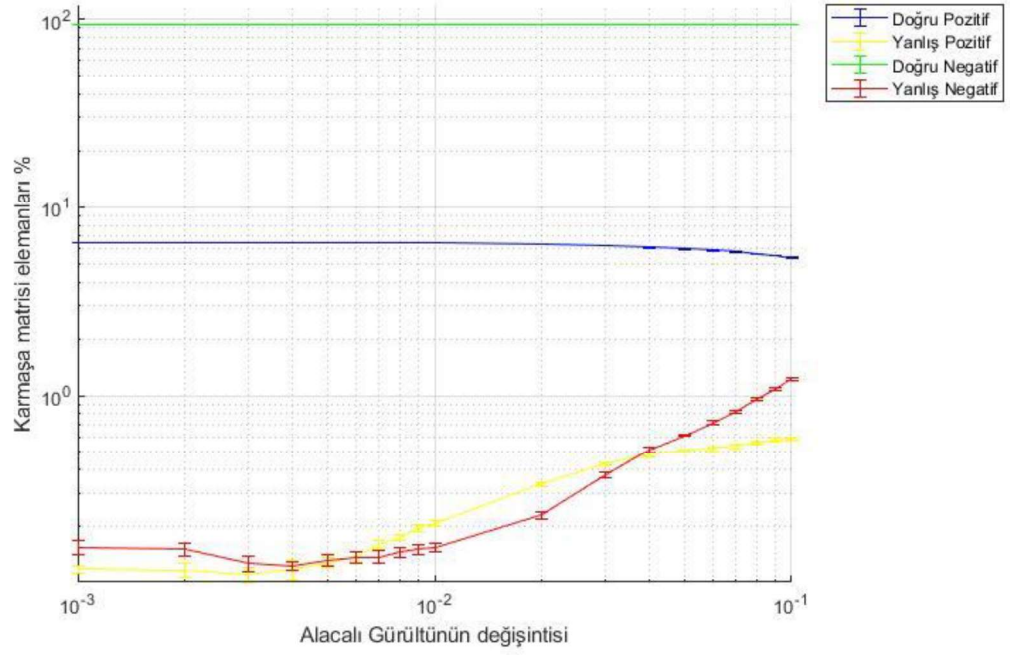
Şekil 4.20. Alacalı gürültünün özgüllüğe etkisi



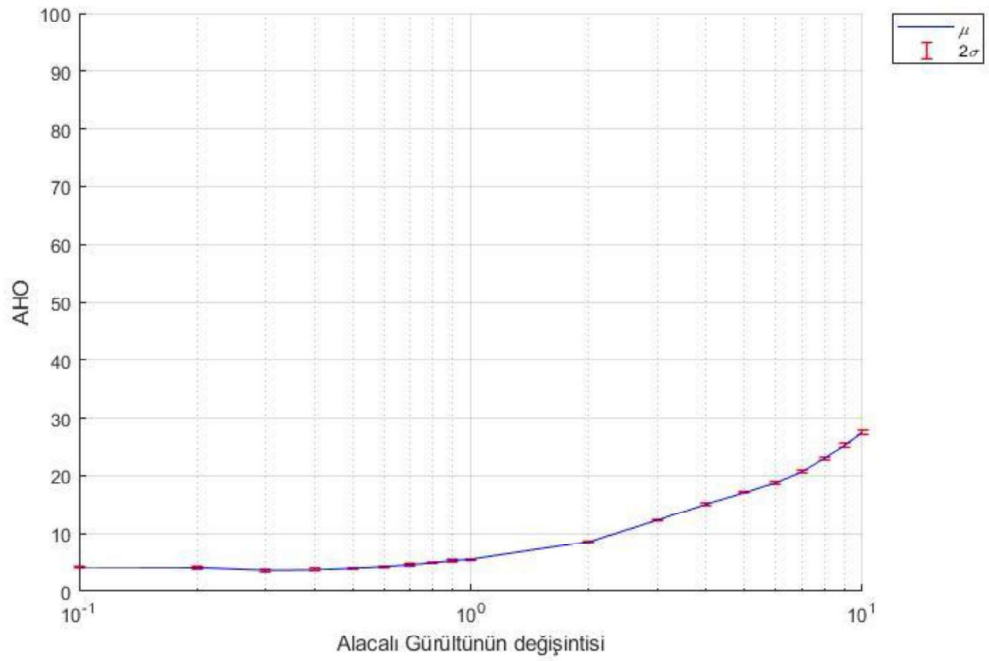
Şekil 4.21. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi



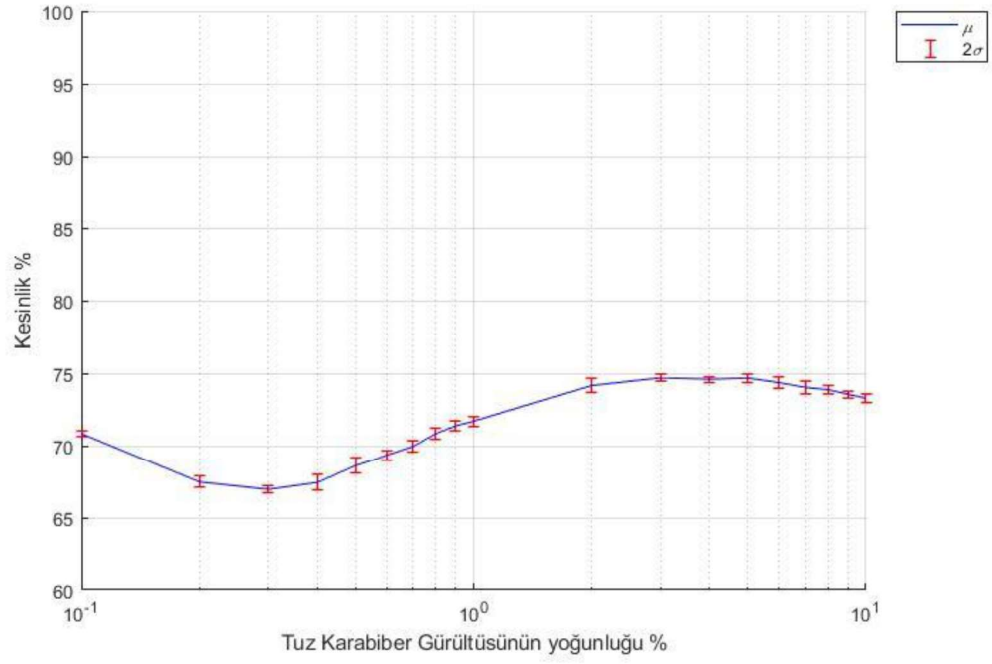
Şekil 4.22. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi



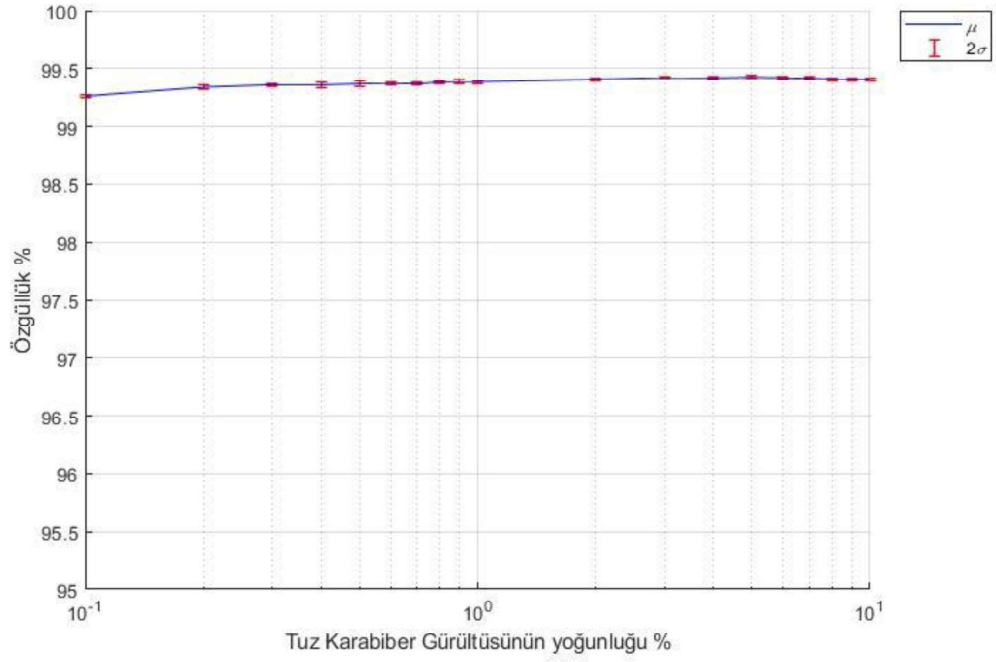
Şekil 4.23. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



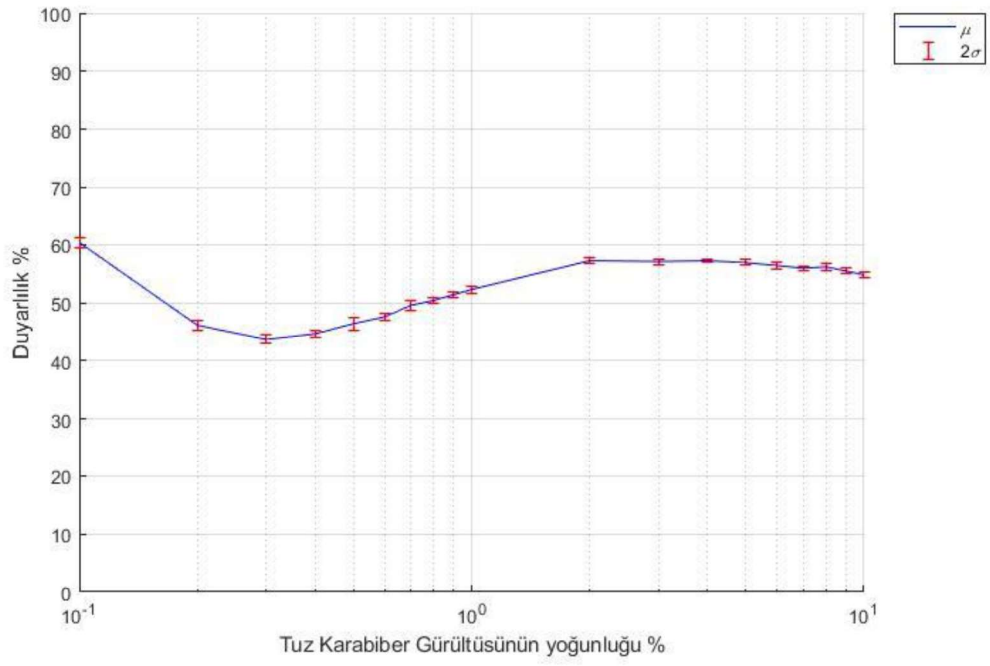
Şekil 4.24. Alacalı gürültünün AHO'na etkisi



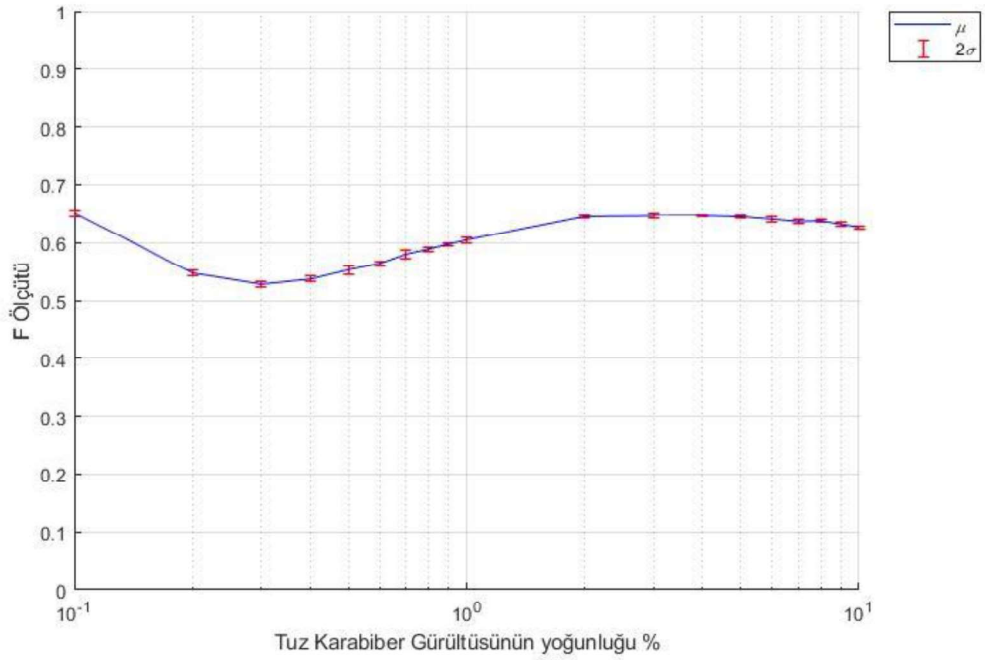
Şekil 4.25. Tuz karabiber gürültüsünün keskinliğe etkisi



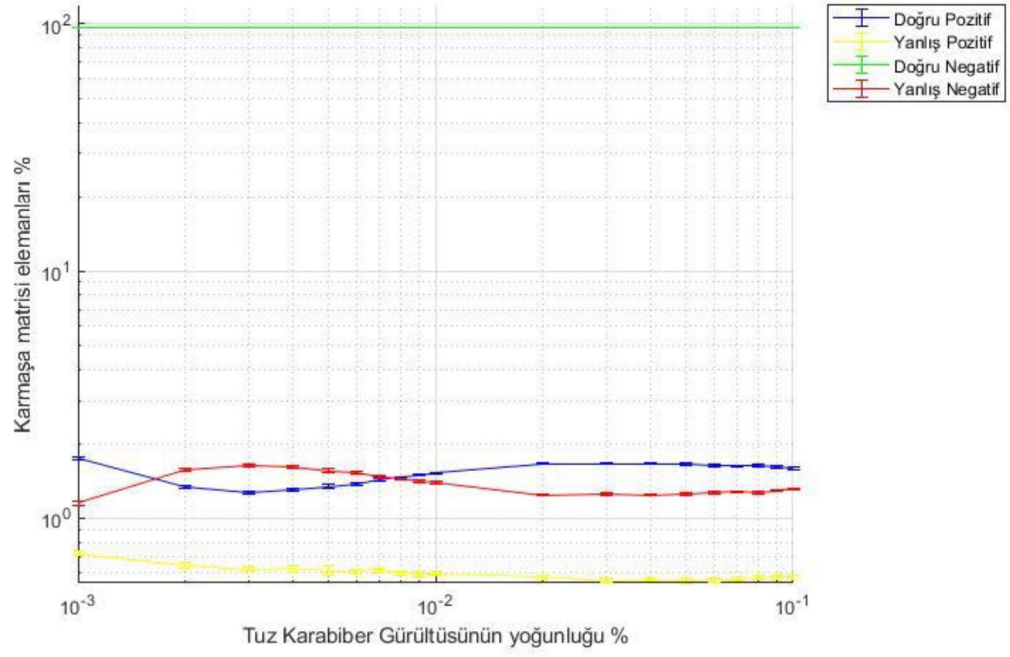
Şekil 4.26. Tuz karabiber gürültüsünün özgüllüğe etkisi



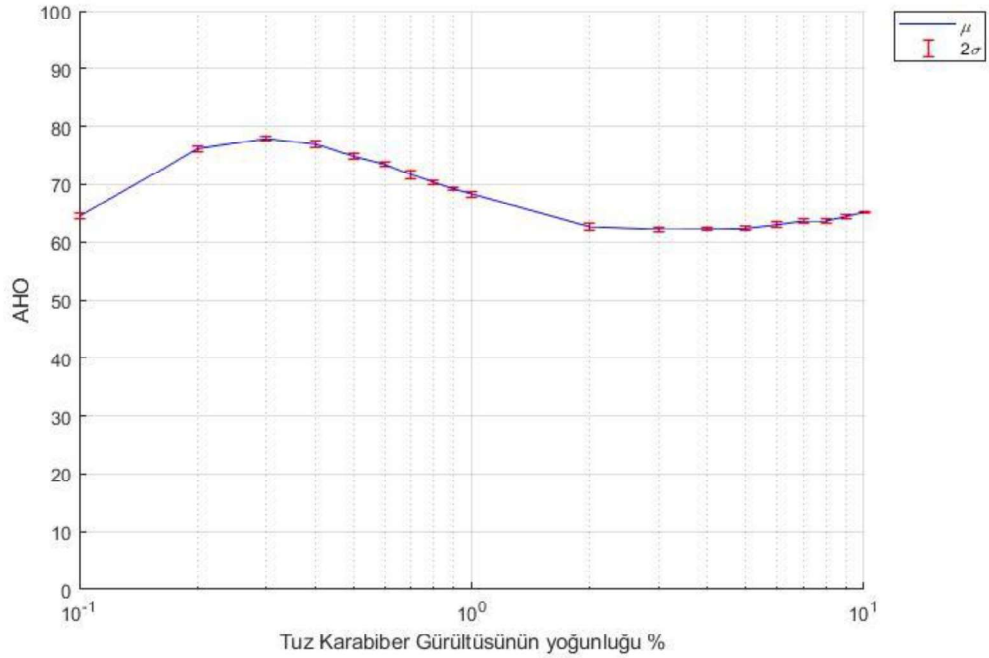
Şekil 4.27. Tuz karabiber gürültüsünün duyarlılığa etkisi



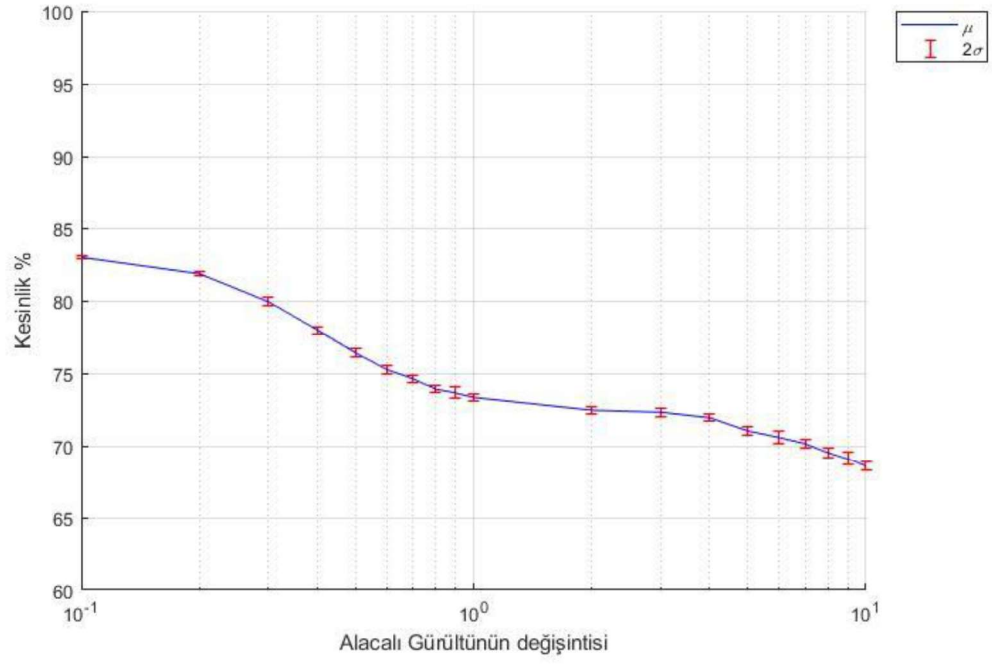
Şekil 4.28. Tuz karabiber gürültüsünün F ölçütüne etkisi



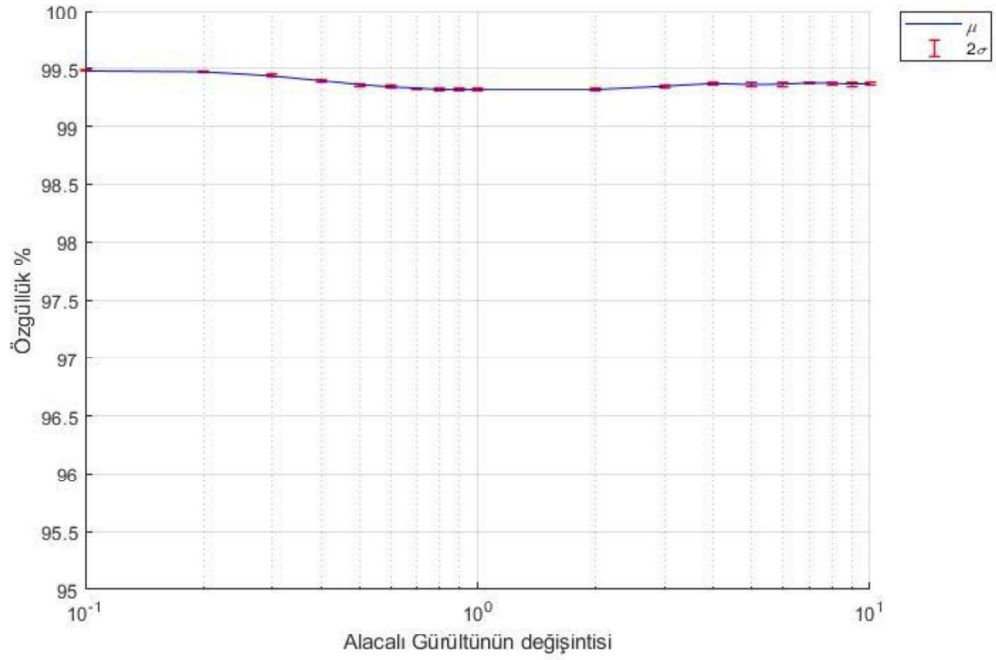
Şekil 4.29. Tuz karabiber gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



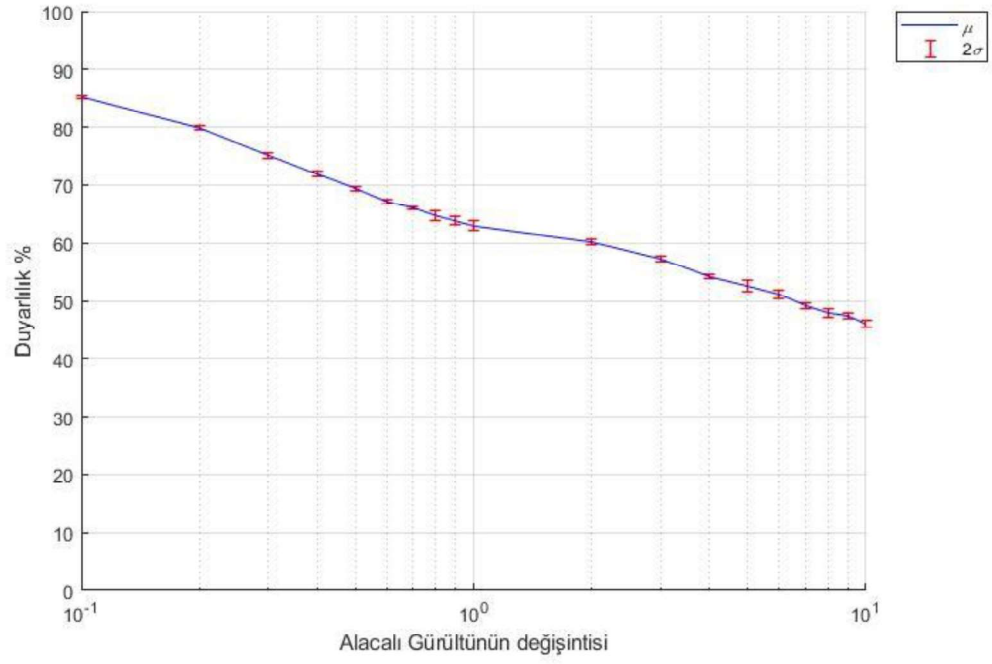
Şekil 4.30. Tuz karabiber gürültüsünün AHO'nına etkisi



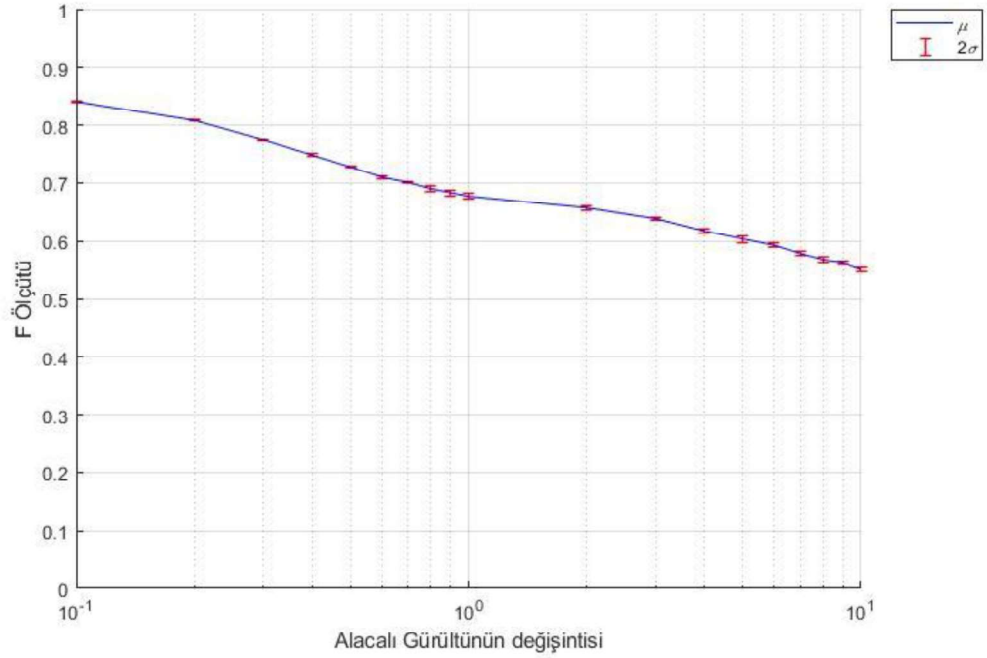
Şekil 4.31. Alacalı gürültünün kesinliğe etkisi



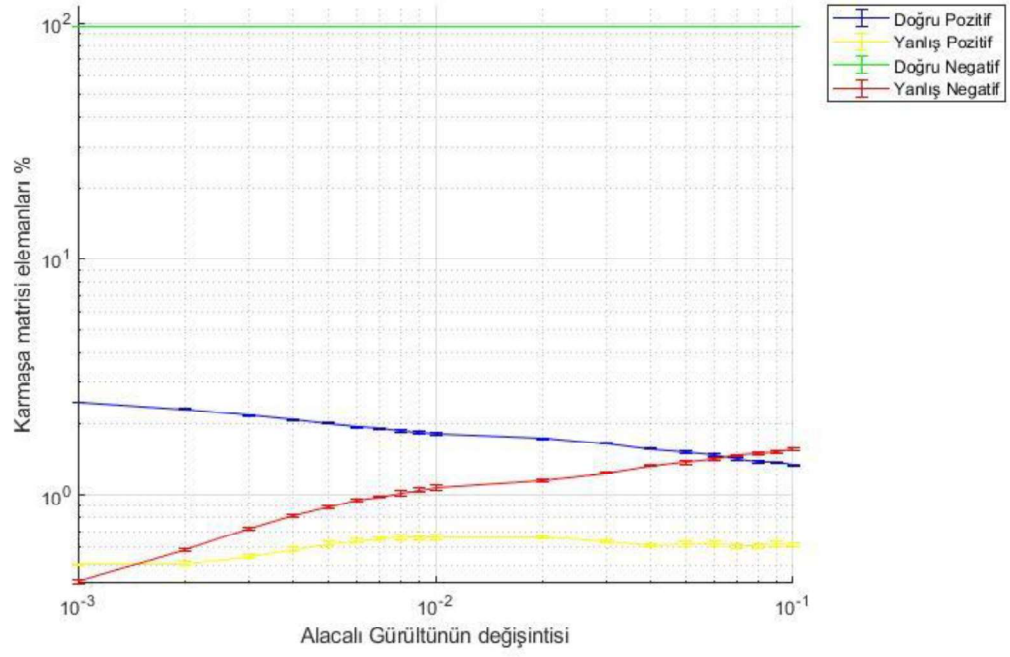
Şekil 4.32. Alacalı gürültünün özgüllüğe etkisi



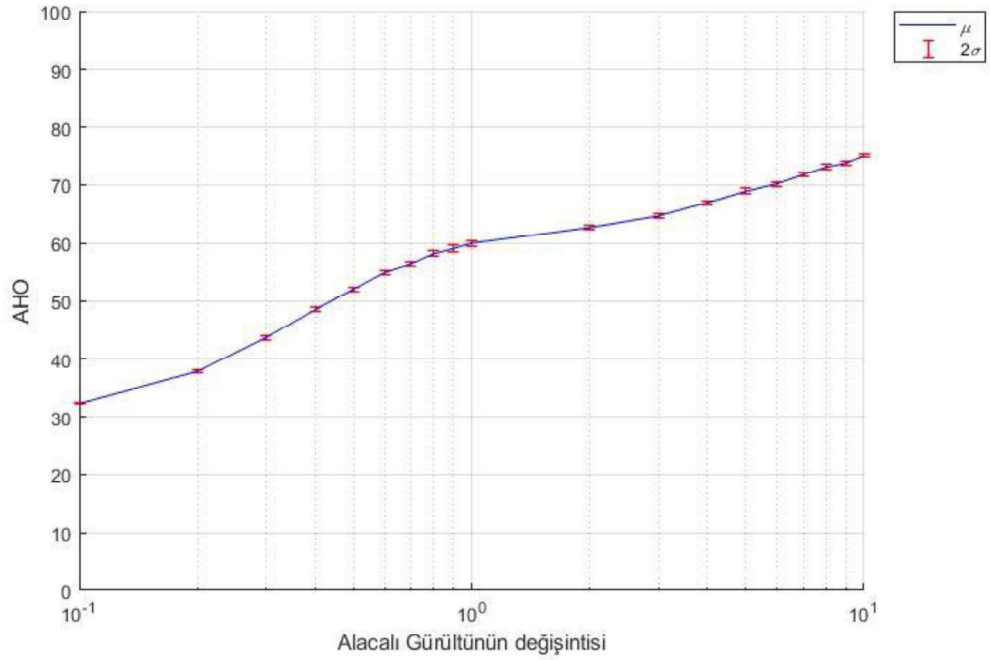
Şekil 4.33. Alacalı gürültünün duyarlılığa etkisi



Şekil 4.34. Alacalı gürültünün F ölçütüne etkisi



Şekil 4.35. Alacalı gürültüsüne göre karışıklık matrisi elemanlarının yüzdesi



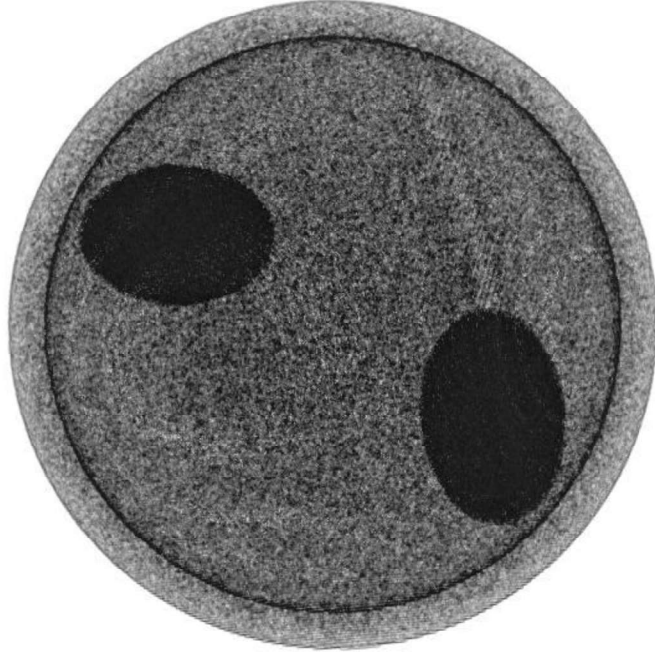
Şekil 4.36. Alacalı gürültünün AHO'nına etkisi

4.2. Görsel Sonuçlar

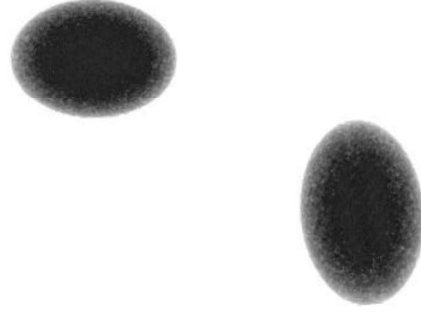
Transfer fonksiyonları ile görselleştirme aşamasından önce İDB sınıflandırma işleminin yapılmış olmasının önemli avantajları bulunmaktadır. Öncelikle transfer fonksiyonunun görsel haritalama karmaşıklığı azalmaktadır. Bu azalmanın nedeni görselde olması gereken kısımların diğer kısımlardan ayrıştırılması işleminin transfer fonksiyonu içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sayede istenmeyen bölgelerden kurtulmak için yapılan değişikliklerin İDB içindeki alanları etkilemesinin önüne geçilmiştir. İDB görselde bulunmasından ziyade bölgenin bilişsel olarak algılanmasının iyileştirilmesine odaklanılabilmektedir.

Şekil 3.2'deki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.37, 4.38 ile 4.39'da ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.40, 4.41 ile 4.42'de görselleştirilmiştir. Şekil 4.37'den Şekil 4.42'ye kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.37 ve 4.40'da birinci fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir.

Şekil 4.38 ve 4.41'de gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.39 ve 4.42'de önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.

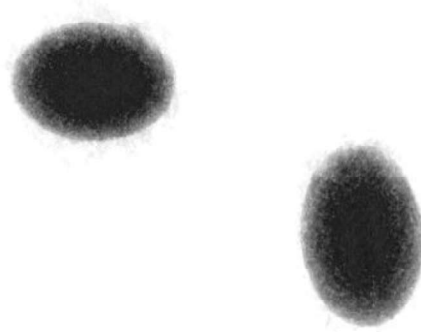


Şekil 4.37. Alacalı gürültülü 1. fantom için oluşturulmuş görsel

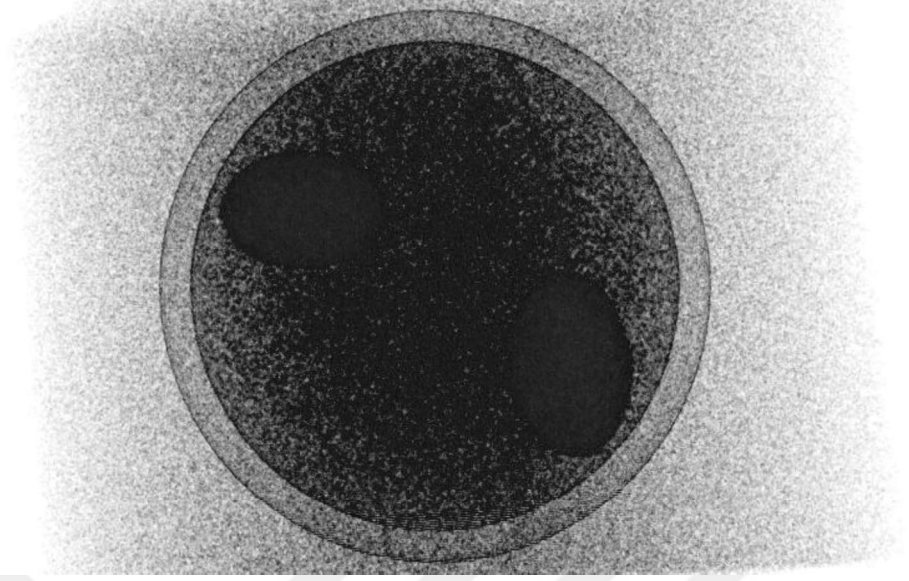


Şekil 4.38. Alacalı gürültülü 1. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.37'deki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.38'de verilmiştir. Şekil 4.39'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.37 ve 4.39 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

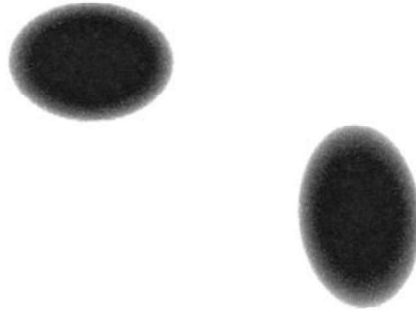


Şekil 4.39. Alacalı gürültülü 1. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

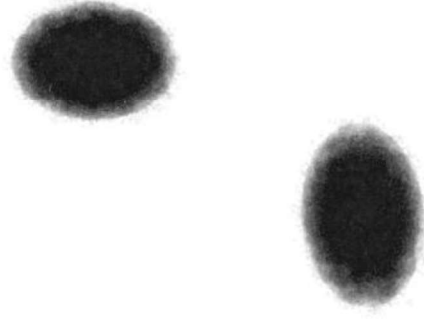


Şekil 4.40. Tuz karabiber gürültülü 1. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.40'deki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.41'de verilmiştir. Şekil 4.42'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.40 ve 4.42 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

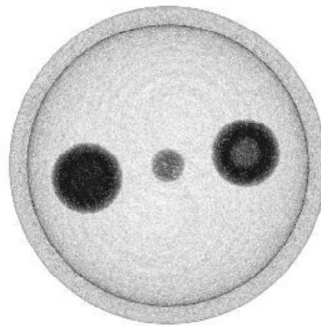


Şekil 4.41. Tuz karabiber gürültülü 1. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

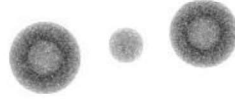


Şekil 4.42. Tuz karabiber gürültülü 1. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.3'teki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.43, 4.44 ile 4.45'te ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.46, 4.47 ile 4.48'de görselleştirilmiştir. Şekil 4.43'ten Şekil 4.48'e kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.43 ve 4.46'da ikinci fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.44 ve 4.47'de gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.45 ve 4.48'de önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.

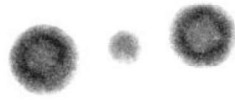


Şekil 4.43. Alacalı gürültülü 2. fantom için oluşturulmuş görsel

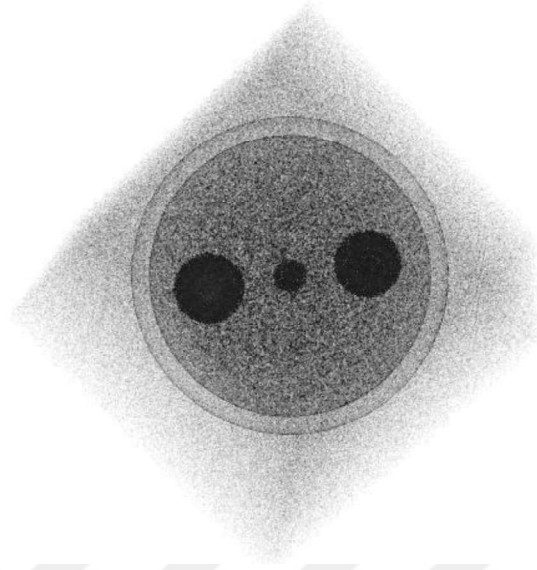


Şekil 4.44. Alacalı gürültülü 2. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.43'deki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.44'te verilmiştir. Şekil 4.45'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.43 ve 4.45 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

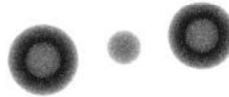


Şekil 4.45. Alacalı gürültülü 2. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.46. Tuz karabiber gürültülü 2. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.46'daki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.47'de verilmiştir. Şekil 4.48'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.46 ve 4.48 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

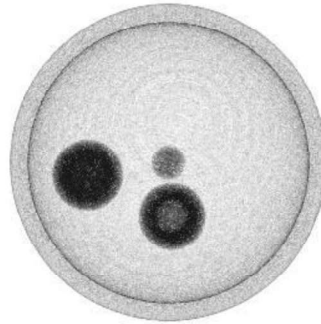


Şekil 4.47. Tuz karabiber gürültülü 2. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

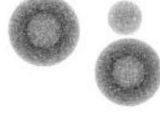


Şekil 4.48. Tuz karabiber gürültülü 2. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.4'teki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.49, 4.50 ile 4.51'de ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.52, 4.53 ile 4.54'te görselleştirilmiştir. Şekil 4.49'dan Şekil 4.54'e kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.49 ve 4.52'da üçüncü fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.50 ve 4.53'te gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.51 ve 4.54'te önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.

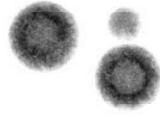


Şekil 4.49. Alacalı gürültülü 3. fantom için oluşturulmuş görsel

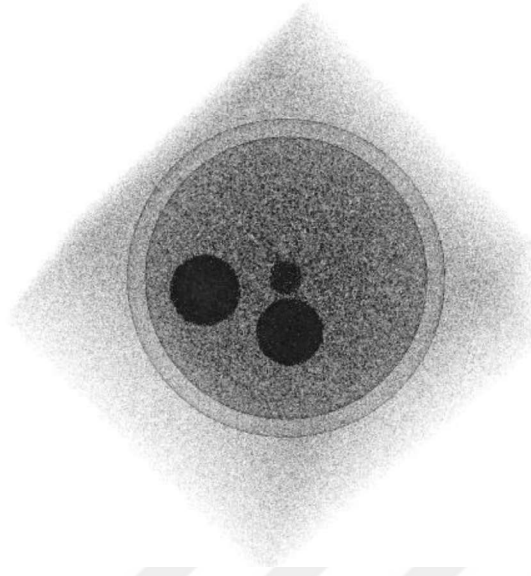


Şekil 4.50. Alacalı gürültülü 3. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.49'daki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.50'de verilmiştir. Şekil 4.51'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.49 ve 4.51 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

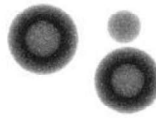


Şekil 4.51. Alacalı gürültülü 3. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

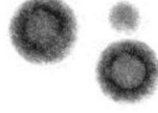


Şekil 4.52. Tuz karabiber gürültülü 3. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.52'deki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.53'te verilmiştir. Şekil 4.54'te ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.52 ve 4.54 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.53. Tuz karabiber gürültülü 3. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli



Şekil 4.54. Tuz karabiber gürültülü 3. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.5'teki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.55, 4.56 ile 4.57'de ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.58, 4.59 ile 4.60'ta görselleştirilmiştir. Şekil 4.55'den Şekil 4.60'a kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.55 ve 4.58'de dördüncü fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.56 ve 4.59'da gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.57 ve 4.60'ta önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.



Şekil 4.55. Alacalı gürültülü 4. fantom için oluşturulmuş görsel

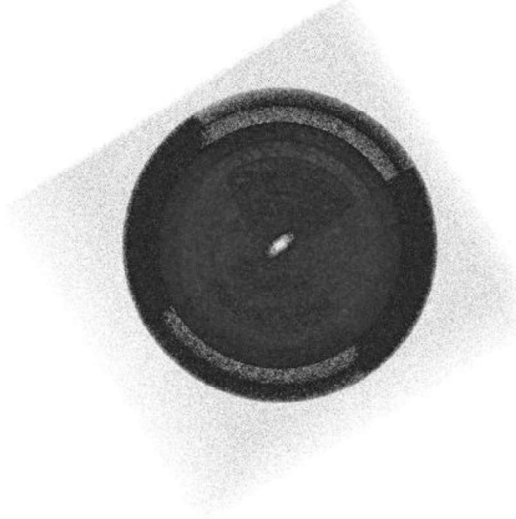


Şekil 4.56. Alacalı gürültülü 4. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.55'teki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.56'da verilmiştir. Şekil 4.57'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.55 ve 4.57 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.57. Alacalı gürültülü 4. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.58. Tuz karabiber gürültülü 4. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.58'deki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.59'da verilmiştir. Şekil 4.60'ta ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.58 ve 4.60 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

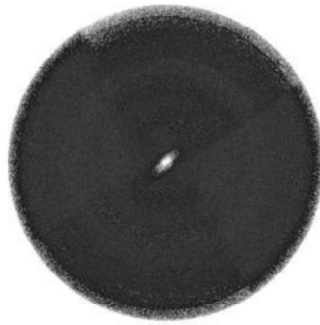


Şekil 4.59. Tuz karabiber gürültülü 4. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli



Şekil 4.60. Tuz karabiber gürültülü 4. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.6'daki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.61, 4.62 ile 4.63'te ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.64, 4.65 ile 4.66'da görselleştirilmiştir. Şekil 4.61'den Şekil 4.66'ya kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.61 ve 4.64'te beşinci fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.62 ve 4.65'da gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.63 ve 4.66'da önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.

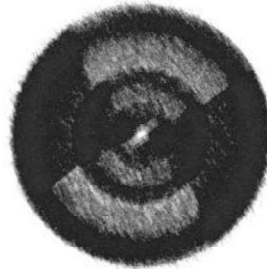


Şekil 4.61. Alacalı gürültülü 5. fantom için oluşturulmuş görsel

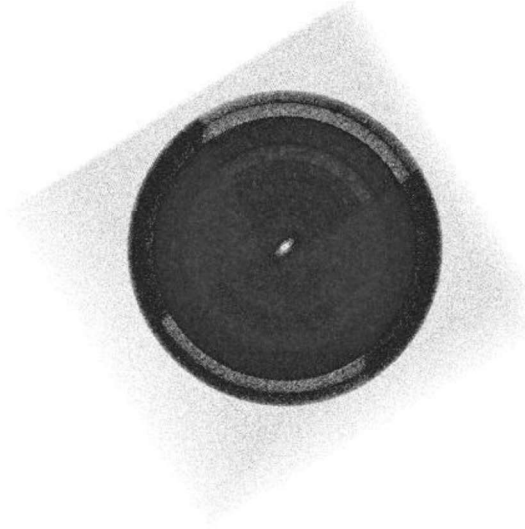


Şekil 4.62. Alacalı gürültülü 5. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.61'deki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.62'de verilmiştir. Şekil 4.63'te ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.61 ve 4.63 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.63. Alacalı gürültülü 5. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.64. Tuz karabiber gürültülü 5. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.64'teki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.65'te verilmiştir. Şekil 4.66'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.64 ve 4.66 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

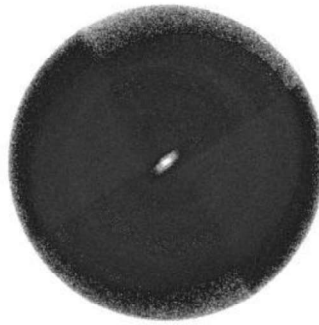


Şekil 4.65. Tuz karabiber gürültülü Şekil 3.6 İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görsel



Şekil 4.66. Tuz karabiber gürültülü 5. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.7'deki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.67, 4.68 ile 4.69'da ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.70, 4.71 ile 4.72'de görselleştirilmiştir. Şekil 4.67'den Şekil 4.72'ye kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.67 ve 4.70'te altıncı fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.68 ve 4.71'de gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.69 ve 4.72'de önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.



Şekil 4.67. Alacalı gürültülü 6. fantom için oluşturulmuş görsel

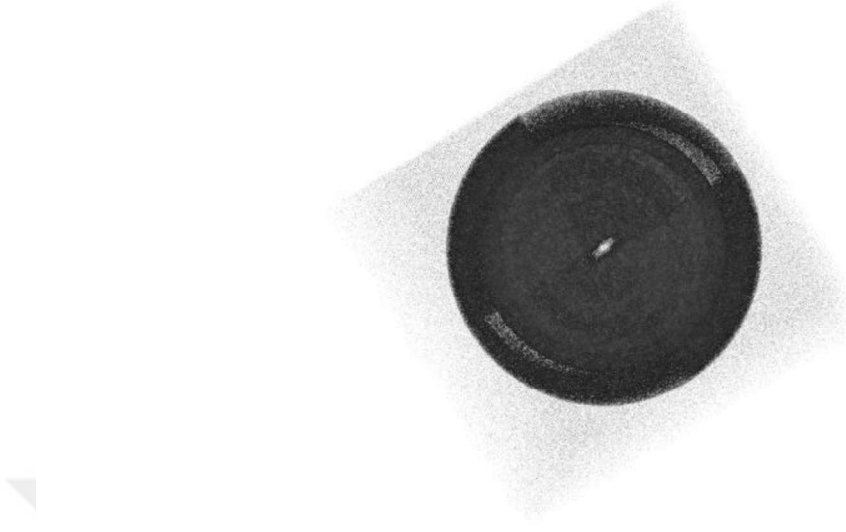


Şekil 4.68. Alacalı gürültülü 6. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

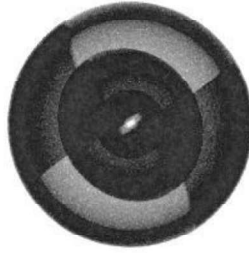
Şekil 4.67'deki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.68'de verilmiştir. Şekil 4.69'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.67 ve 4.69 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.69. Alacalı gürültülü 6. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.70. Tuz karabiber gürültülü 6. fantom için oluşturulmuş görsel



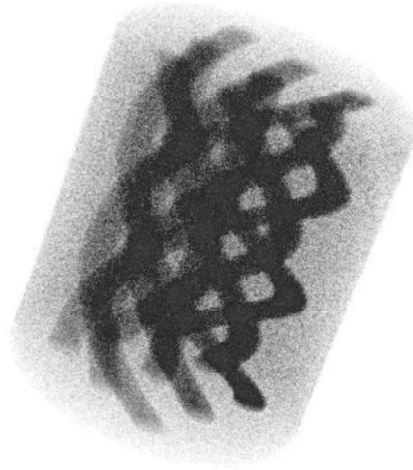
Şekil 4.71. Tuz karabiber gürültülü 6. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.70'teki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.71'de verilmiştir. Şekil 4.72'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.70 ve 4.72 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.72. Tuz karabiber gürültülü 6. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.8'deki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.73, 4.74 ile 4.75'te ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.76, 4.77 ile 4.78'de görselleştirilmiştir. Şekil 4.73'ten Şekil 4.78'e kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.73 ve 4.76'da yedinci fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.74 ve 4.77'de gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.75 ve 4.78'de önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.



Şekil 4.73. Alacalı gürültülü 7. fantom için oluşturulmuş görsel

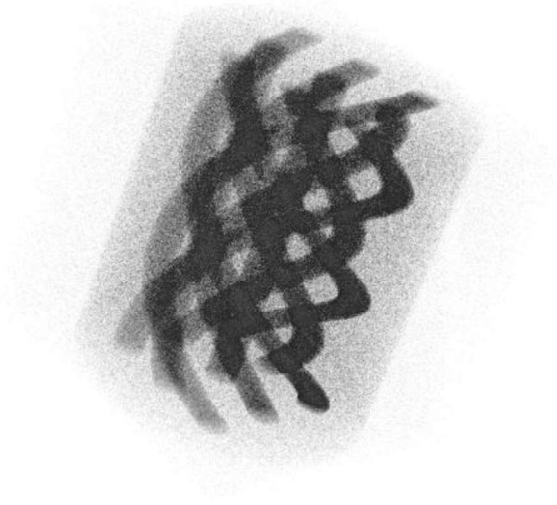


Şekil 4.74. Alacalı gürültülü 7. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.73'teki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.74'te verilmiştir. Şekil 4.75'te ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.73 ve 4.75 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.75. Alacalı gürültülü 7. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.76. Tuz karabiber gürültülü 7. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.76'teki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.77'de verilmiştir. Şekil 4.78'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.76 ve 4.78 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

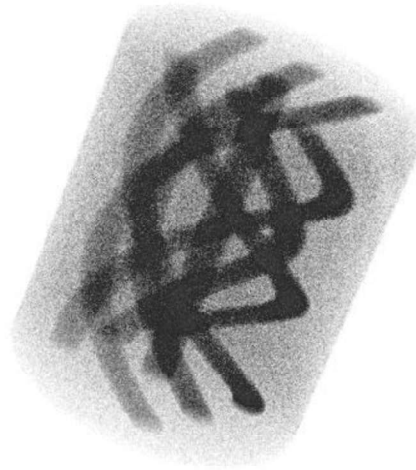


Şekil 4.77. Tuz karabiber gürültülü 7. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli



Şekil 4.78. Tuz karabiber gürültülü 7. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.9'daki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.79, 4.80 ile 4.81'de ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.82, 4.83 ile 4.84'te görselleştirilmiştir. Şekil 4.79'dan Şekil 4.84'e kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.79 ve 4.82'de sekizinci fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.80 ve 4.83'te gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.81 ve 4.84'te önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.



Şekil 4.79. Alacalı gürültülü 8. fantom için oluşturulmuş görsel

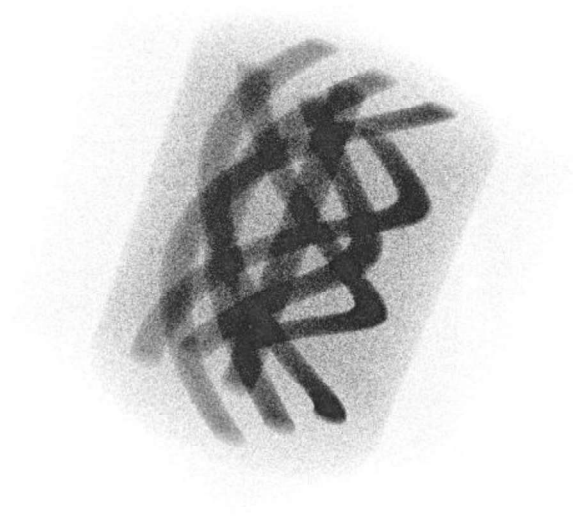


Şekil 4.80. Alacalı gürültülü 8. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.79'daki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.80'de verilmiştir. Şekil 4.81'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.79 ve 4.81 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.81. Alacalı gürültülü 8. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.82. Tuz karabiber gürültülü 8. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.82'deki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.83'te verilmiştir. Şekil 4.84'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.82 ve 4.84 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.

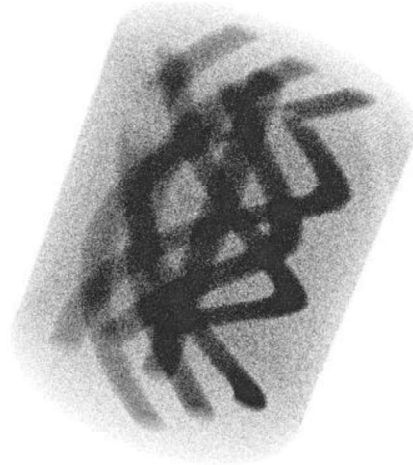


Şekil 4.83. Tuz karabiber gürültülü 8. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli



Şekil 4.84. Tuz karabiber gürültülü 8. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

Şekil 3.10'daki fantomun alacalı gürültülü hali Şekil 4.85, 4.86 ile 4.87'de ve tuz karabiber gürültülü hali ise Şekil 4.88, 4.89 ile 4.90'da görselleştirilmiştir. Şekil 4.85'ten Şekil 4.90'a kadar olan görsellerde aynı tek boyutlu transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.85 ve 4.88'de dokuzuncu fantomun gürültülü durumları için görseli verilmiştir. Şekil 4.86 ve 4.89'da gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmiştir. Şekil 4.87 ve 4.90'da önerilen yöntemle bulunan kısım görselleştirilmiştir.

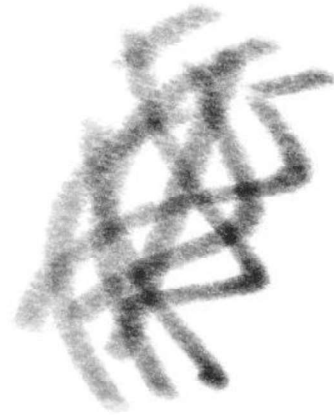


Şekil 4.85. Alacalı gürültülü 9. fantom için oluşturulmuş görsel

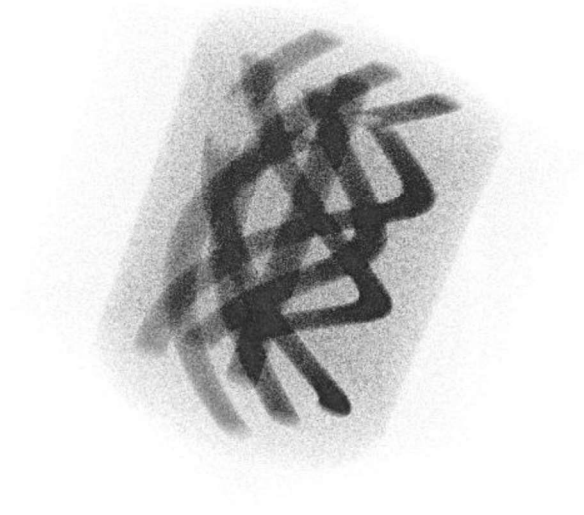


Şekil 4.86. Alacalı gürültülü 9. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli

Şekil 4.85'teki alacalı gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.86'da verilmiştir. Şekil 4.87'de ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.85 ve 4.87 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.87. Alacalı gürültülü 9. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli



Şekil 4.88. Tuz karabiber gürültülü 9. fantom için oluşturulmuş görsel

Şekil 4.88'deki tuz karabiber gürültülü fantomun sadece İDB görselleştirilmesiyle elde edilen görüntü Şekil 4.89'da verilmiştir. Şekil 4.90'da ise önerilen metotla oluşturulan görsel verilmiştir. Şekil 4.88 ve 4.90 incelendiğinde İDB bulunması için transfer fonksiyonunda aranmasına gerek kalmadığı görülmektedir.



Şekil 4.89. Tuz karabiber gürültülü 9. fantomun İDB gerçek referansı ile oluşturulmuş görseli



Şekil 4.90. Tuz karabiber gürültülü 9. fantomun tespit edilen İDB için oluşturulmuş görseli

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında sınıflandırma temelli bir yaklaşım kullanılarak hacimsel görselleştirmede iyileştirmeler yapılmıştır.

Önerilen yaklaşım iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada süper pikseller ile yerel sınırlar çıkartılmıştır ve daha sonra bu sınırlar DVM ile birleştirilerek İDB belirlenmiştir. İkinci aşamada ise bir boyutlu transfer fonksiyonu aracılığı ile İDB hacimsel olarak görselleştirilmiştir.

Yaklaşımın başarımların analizi gürültülü örnek durumları için yapılmıştır. Gürültü örnekleri tuz karabiber ve alacalı gürültü tiplerini içermektedir. Başarım kriterleri olarak altı farklı ölçek kullanılmıştır: Kesinlik, Özgüllük, Duyarlılık, F ölçütü, Karmaşa matrisi elemanlarının oranı ve AHO.

Yapılan denemeler sonucunda tez çalışmasında önerilen sınıflandırma temelli yaklaşımın hacimsel görselleştirmeyi iyileştirdiği görülmüştür.

Hacimsel görüntülerin oluşturulmasında yeni yaklaşım arayışları ile birlikte elde edilen görsellerinin algılanabilirliği de başarımları etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, görüntü işleme ve makine öğrenmesi temelli yaklaşım çalışmalarına ek olarak nörobilimi de kapsayan çok disiplinli araştırmaların yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., Susstrunk, S., 2010. SLIC Superpixels. EPFL Technical Report 149300,Lozan.

Achanta, R., Shaji, A., Smith, K., Lucchi, A., Fua, P., Susstrunk, S. 2012. SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 34(11): 2274–2281.

Achanta, R., Ssstrunk, S. 2017. Superpixels and polygons using simple non-iterative clustering. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), s. 4895–4904.

Alpaydin, E. 2020. Introduction to Machine Learning, MIT Press, USA, s. 395-427.

Selver, M. A., Fischer, F., Kuntalp, M., Hillen, W. 2007. A software tool for interactive generation, representation, and systematical storage of transfer functions for 3D medical images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 86(3): 270–280.

Amami, A. Amami, A., Azouz, Z. B., Alouane, Turki-Hadj M. 2019. AdaSLIC: adaptive supervoxel generation for volumetric medical images. *Multimedia Tools and Applications*, 78(3): 3723–3745.

Arbelez, P., Maire, M., Fowlkes, Ch., Malik, J. 2011. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 33(5): 898–916.

Avila, R., He, T., Hong, L., Kaufman, A., Pfister, H., Silva, C., Sobierajski, L., Wang, S. 1994. VolVis: a diversified volume visualization system. IEEE Conference on Visualization, s. 31–38.

Barillot, C. 1993. Surface And Volume Rendering Techniques To Display 3-D Data. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 12(1): 111–119.

Bordoloi, U. D., Han-Wei Shen 2005. View Selection for Volume Rendering. *IEEE Visualization*, s. 487–494.

Boser, B. E., Guyon, I., Vapnik, Vladimir N. M. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers. Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory, New York, s. 144–152.

Brekhna, B., Mahmood, A., Zhou, Y., Zhang, C. 2017. Robustness analysis of superpixel algorithms to image blur, additive Gaussian noise, and impulse noise. *Journal of Electronic Imaging*, 26(6).

Burges, C. C. J. C. 1998. A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2): 121–167.

Choi, S., Zhou, Q., Miller, S., Koltun, V. 2016. A Large Dataset of Object Scans. <http://redwood-data.org/3dscan>. (Erişim tarihi: 16.01.2019)

Conrad, C., Mertz, M., Mester, R. 2013. Contour-relaxed superpixels. Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). s. 280-293.

Correa, C. D., Ma, K. L. 2011. Visibility Histograms and Visibility-Driven Transfer Functions. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(2): 192–204.

Correa, C. D., Ma, K. L. 2008. Size-based transfer functions: A new volume exploration technique. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6): 1380–1387.

Correa, C. D., Ma, K. L. 2009. Visibility-driven transfer functions. *IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis) Proceedings*, s. 177–184.

da Fontoura Costa, L., Marcondes Cesar, R. 2009. Shape Classification and Analysis. Boca Raton, s. 259-318.

Dalrymple, N. C., Prasad, S. R., Freckleton, M. W., Chintapalli, K. N. 2005. Introduction to the Language of Three-dimensional Imaging with Multidetector CT. *RadioGraphics*, 25(5): 1409–1428.

Damerjian, V., Tankyevych, O., Souag, N., Petit, E. 2014. Speckle characterization methods in ultrasound images – A review. *IRBM*, 35(4): 202–213.

Dice, L. R. 1945. Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology*, 26(3): 297–302.

Diniz, P. H. B., Valente, T. L. A., Diniz, J. O. B., Silva, A. C., Gattass, M., Ventura, N., Muniz, B. C., Gasparetto, E. L. 2018. Detection of white matter lesion regions in MRI using SLIC0 and convolutional neural network. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 167: 49–63.

Dong, L., Zhou, J. 2016. Noise-Robust SLIC Superpixel for Natural Images. *IEEE 7th International Conference on Cloud Computing and Big Data (CCBD)*, s. 335–340.

Drebin, R. A. et al. 1988. Volume rendering. *Proceedings of the 15th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH '88*, New York, s. 22(2): 65–74.

Emsenhuber, G. 2008. Visibility Histograms in Direct Volume Rendering. *Master Thesis*, Institute of Computer Graphics and Algorithms, TU Wien.

Englund, R., Ropinski, T. 2018. Quantitative and Qualitative Analysis of the Perception of Semi-Transparent Structures in Direct Volume Rendering. *Computer Graphics Forum*, 37(6): 174–187.

Fasihi, M. sadat, Mikhael, W. B. 2016. Overview of current biomedical image segmentation methods. International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, s. 803–808.

Fawcett, T. 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8): 861–874.

Fishman, E. K., Ney, D. R., Heath, D. G., Corl, F. M., Horton, K. M., Johnson, P. T. 2006. Volume Rendering versus Maximum Intensity Projection in CT Angiography: What Works Best, When, and Why. *RadioGraphics*, 26(3): 905–922.

Gai, S., Zhang, B., Yang, C., Yu, L. 2018. Speckle noise reduction in medical ultrasound image using monogenic wavelet and Laplace mixture distribution. *Digital Signal Processing*, 72: 192–207.

Getto, R., Kuijper, A., Landesberger, T. 2015. Extended surface distance for local evaluation of 3D medical image segmentations. *The Visual Computer*, 31(6–8): 989–999.

Gönen, M., Alpaydm, E. 2011. Multiple Kernel Learning Algorithms. *Journal of Machine Learning Research*, 12: 2211–2268.

Gould, S., Rodgers, J., Cohen, D., Elidan, G., Koller, D. 2008. Multi-Class Segmentation with Relative Location Prior. *International Journal of Computer Vision*, 80(3): 300–316.

Grove, O., Berglund, A. E., Schabath, M. B., Aerts, H. J. W. L., Dekker, A., Wang, H., Velazquez, E. R., Lambin, P., Gu, Y., Balagurunathan, Y., Eikman, E., Gatenby, R. A., Eschrich, S., Gillies, R. J. 2015. Quantitative Computed Tomographic Descriptors

Associate Tumor Shape Complexity and Intratumor Heterogeneity with Prognosis in Lung Adenocarcinoma. *PLOS ONE*, 10(3): e0118261.

Haas, S., Donner, R., Burner, A., Holzer, M., Langs, G. 2012. Superpixel-Based Interest Points for Effective Bags of Visual Words Medical Image Retrieval: Medical Content-Based Retrieval for Clinical Decision Support, Editörler: Müller H., Greenspan H., Syeda-Mahmood T., Springer, Berlin, Heidelberg, pp: 58–68.

Hadwiger, M., Berger, C., Hauser, H. 2003. High-Quality Two-Level Volume Rendering of Segmented Data Sets on Consumer Graphics Hardware. Proceedings of the IEEE Visualization Conference, s. 301–308.

Holtz, K., Holtz, E. 1990. True information television (TITV) breaks Shannon bandwidth barrier. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 36(2): 142–148.

Ip, C. Y., Varshney, A., Jaja, J. 2012. Hierarchical exploration of volumes using multilevel segmentation of the intensity-gradient histograms. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12): 2355–2363.

Jaccard, P. 1912. THE DISTRIBUTION OF THE FLORA IN THE ALPINE ZONE. *New Phytologist*, 11(2): 37–50.

Jain, R. 1984. Difference and accumulative difference pictures in dynamic scene analysis. *Image and Vision Computing*, 2(2): 99–108.

Jung, Y., Kim, J., Kumar, A., Feng, D.D., Fulham, M. 2018. Feature of Interest-Based Direct Volume Rendering Using Contextual Saliency-Driven Ray Profile Analysis. *Computer Graphics Forum*, 37(6): 5–19.

Jung, Y., ., Kim, J., Kumar, A., Feng, D.D., Fulham, M. 2016. Efficient visibility-driven medical image visualisation via adaptive binned visibility histogram. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 51: 40–49.

Kang, J., Lee, J., Shin, Y. G., Kim, B. 2020. Depth-of-Field Rendering Using Progressive Lens Sampling in Direct Volume Rendering. *IEEE Access*, 8: 93335–93345.

Kavur, A. E., Gezer, N. S., Barış, M., Şahin, Y., Özkan, S., Baydar, B., Yüksel, U., Kılıkçier, Ç., Olut, Ş., Akar, G. B., Ünal, G., Dicle, O., Selver, M. A. 2020. Comparison of semi-automatic and deep learning-based automatic methods for liver segmentation in living liver transplant donors. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 26(1): 11–21.

Kindlmann, G. 2002. Transfer functions in direct volume rendering: Design, interface, interaction. *Siggraph Course Notes*, 5: 6.

Kılıkçier, Ç., Yılmaz, E. 2018. BT Görüntülerden Akciğerin Tespiti için Süper Piksel ve Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bir Yöntem. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2): 223–230.

Kniss, J., Kindlmann, G., Hansen, C. 2002. Multidimensional transfer functions for interactive volume rendering. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 8(3): 270–285.

Kocaoglu, A., Selver, M. A., Demir, G. K., Cuneýt, G. 2007. Clustering Based Automatic Segmentation of Liver. 2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications, Eskisehir, pp: 1–4.

Kwon, B. C., Eysenbach, B., Verma, J., Ng, K., Filippi, C., Stewart, W. F., Perer, A. 2018. Clustervision: Visual Supervision of Unsupervised Clustering. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(1): 142–151.

Landini, L., Positano, V., Santarelli, M. F. 2008. Image Processing in Radiology, Editors.: Neri, E., Caramella D., Bartolozzi, C., Springer Berlin Heidelberg, pp:67-85.

Levinshtein, A., Sminchisescu, C., Dickinson, S. 2013. Multiscale Symmetric Part Detection and Grouping. *International Journal of Computer Vision*, 104(2): 117–134.

Levoy, M. 1988. Display of surfaces from volume data. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 8(3): 29–37.

Li, Z., Chen, J. 2015. Superpixel segmentation using Linear Spectral Clustering. 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Boston, MA, USA (Vol. 07-12-June) pp: 1356–1363.

Lin, C. F., Yang, D. L., Chung, Y. C. 2001. A marching voxels method for surface rendering of volume data. Proceedings of Computer Graphics International Conference, CGI, D: 306–313.

Liu, Y. J., Yu, C. C., Yu, M. J., He, Y. 2016. Manifold SLIC: A fast method to compute content-sensitive superpixels. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, NV, USA, pp:651-659.

Liu, Y. J., Yu, M., Li, B. J., He, Y. 2018. Intrinsic Manifold SLIC: A Simple and Efficient Method for Computing Content-Sensitive Superpixels. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(3): 656–666.

Ljung, P., Krüger, J., Groller, E., Hadwiger, M., Hansen, C. D., Ynnerman, A. 2016. State of the Art in Transfer Functions for Direct Volume Rendering. *Computer Graphics Forum*, 35(3): 669–691.

Lorensen, W. E., Cline, H. E. 1987. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 21(4): 163–169.

Luengo, I., Basham, M., French, A. P. 2016. SMURFS: Superpixels from Multi-scale Refinement of Super-regions. . British Machine Vision Conference (BMVC 2016), 20-22nd Sept 2016, York, UK.

Lundström, C., Ynnerman, A., Ljung, P., Persson, A., Knutsson, H. 2006. The a-Histogram: Using Spatial Coherence to Enhance Histograms and Transfer Function Design. Proceedings of the Eighth Joint Eurographics / IEEE VGTC Conference on Visualization, Editors: Ertl, T., Joy, K., Santos, B., pp: 227–234.

Luo, S., Dingliana, J. 2015. Visibility-Weighted Saliency for Volume Visualization: EG UK Computer Graphics & Visual Computing (CGVC), Editors: Borgo, R., Turkay, C.

Luo, S., Dingliana, J. 2016. Transfer Function Optimization Based on a Combined Model of Visibility and Saliency. Proceedings of the 33rd Spring Conference on Computer Graphics - SCCG '17, Editors: Isenberg, T., Sadlo, F., pp: 10–12.

Ma, B., Entezari, A. 2018. Volumetric Feature-Based Classification and Visibility Analysis for Transfer Function Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(12): 3253–3267.

Machairas, V., Faessel, M., Cardenas-Pena, D., Chabardes, T., Walter, T., Decenciere, E. 2015. Waterpixels. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(11): 3707–3716.

Meyer, F. 1992. Color Image Segmentation. International Conference on Image Processing and its Applications : International Conference on Image Processing and its Applications, Maastricht, : IET, , 303–306.

Mousavi, S. M., Zhu, W., Ellsworth, W., Beroza, G. 2019. Unsupervised Clustering of Seismic Signals Using Deep Convolutional Autoencoders. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(11): 1693–1697.

Neubert, P., Protzel, P. 2014. Compact Watershed and Preemptive SLIC: On Improving Trade-offs of Superpixel Segmentation Algorithms. 22nd International Conference on Pattern Recognition, pp: 996–1001.

Nguyen, B. P., Tay, W., Chui, C., Ong, S. 2012. A clustering-based system to automate transfer function design for medical image visualization. *Vis Comput*, 28: 181–191.

Oda, M., Nakaoka, T., Kitasaka, T., Furukawa, K., Misawa, K., Fujiwara, M., Mori, K. 2012. Organ Segmentation from 3D Abdominal CT Images Based on Atlas Selection and Graph Cut: Abdominal Imaging. Editors:Yoshida, H., Sakas G., Linguraru M.G. (7029): 181–188 ,

Patera, J., Skala, V. 2004. A Comparison of fundamental methods for iso surface extraction. *Machine Graphics and Vision*, 13(4): 329–343.

Pedrosa, P., Filho, R., Sarmento, R. M., Cortez, P. C., Silva, A. C.B., De Albuquerque, H. V. C. 2015. Adaptive Crisp Active Contour Method for Segmentation and Reconstruction of 3D Lung Structures. *International Journal of Computer Applications*, 111(4): 1–8.

Preim, B., Botha, C. P. 2013. Visual Computing for Medicine: Theory, Algorithms, and Applications: Second Edition, Morgan Kaufmann, pp: 229-322

Rabbani, H., Vafadust, M., Abolmaesumi, P., Gazor, S. 2008. Speckle noise reduction of medical ultrasound images in complex wavelet domain using mixture priors. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55(9): 2152–2160.

Ren, Malik 2003. Learning a classification model for segmentation: Proceedings Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, 13-16 Oct. 2003, Nice, France, (Vol. 1): 10–17.

Rezk-Salama, C., Kolb, A. 2006. Opacity Peeling for Direct Volume Rendering. *Computer Graphics Forum*, 25(3): 597–606.

Ross, W. E., Cox, D. L., Snapp, K. M., Miller, M. R. 1983. LIGHT MODtm Developments And Applications: Advances in Display Technology III, Editor: Schlam, E., (Vol. 0386): 99–107.

Sabella, P. 1988. A rendering algorithm for visualizing 3D scalar fields: Proceedings of the 15th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH, 22(4): 51–58.

Sato, Y., Shiraga, N., Nakajima, S., Tamura, S., Kikinis, R. 1998. LMIP: Local Maximum Intensity Projection. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 22(6): 912–917.

Schenker, P. S., Cooper, D. B. 1980. Fast adaptive algorithms for low-level scene analysis: the parallel hierarchical ripple filter: Smart sensors II. Proc. conference, July-August, 1980, (252): 113–118.

Selver, M. A., Güzeli, C. 2009. Semiautomatic transfer function initialization for abdominal visualization using self-generating hierarchical radial basis function networks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(3): 395–409.

Shi, J., Malik, J. 2000. Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(8): 888–905.

Sieger, D., Botsch, M. 2011. Design, Implementation, and Evaluation of the Surface_mesh Data Structure: Proceedings of the 20th International Meshing Roundtable, Springer, Berlin, Heidelberg, pp: 533–550.

Singh, K., Ranade, S. K., Singh, C. 2017. A hybrid algorithm for speckle noise reduction of ultrasound images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. (148):55-69

Stompel, A., Ma, K. L., Lum, E. B., Ahrens, J., Patchett, J. 2003. SLIC: Scheduled linear image compositing for parallel volume rendering. IEEE Symposium on Parallel

and Large-Data Visualization and Graphics, October 20-21 2003, Seattle, Washington, USA.

Stutz, D., Hermans, A., Leibe, B. 2018. Superpixels: An evaluation of the state-of-the-art. *Computer Vision and Image Understanding*, 166: 1–27.

Sulaiman, S., Mat Isa, N. 2010. Denoising-based clustering algorithms for segmentation of low level salt-and-pepper noise-corrupted images. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(4): 2702–2710.

Suykens, J. A. K., Vandewalle, J. 1999. Least Squares Support Vector Machine Classifiers. *Neural Processing Letters*, 9(3): 293–300.

Taha, A. A., Hanbury, A. 2015. Metrics for evaluating 3D medical image segmentation: analysis, selection, and tool. *BMC Medical Imaging*, 15(1): 29.

Telea, A. C. 2014. Data Visualization, A K Peters/CRC Press, USA, pp: 21-52, 405-434.

Theodoridis, S., Koutroumbas, K. 2009. Pattern Recognition, Elsevier, USA, pp: 595-626

Tian, Z., Liu, L., Zhang, Z., Fei, B. 2016. Superpixel-Based Segmentation for 3D Prostate MR Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35(3): 791–801.

Tory, M., Potts, S. 2005. A Parallel Coordinates Style Interface for Exploratory Volume Visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(01): 71–80.

Van den Bergh, M., Boix, X., Roig, G., de Capitani, B., Gool, L. V. 2012. SEEDS: Superpixels Extracted via Energy-Driven Sampling: Proceedings of the European conference on computer vision, pp: 13–26.

Van den Bergh, M. , Boix, X., Roig, G., de Capitani, B., Gool, L. V. 2015. SEEDS: Superpixels Extracted Via Energy-Driven Sampling. *International Journal of Computer Vision*, 111(3): 298–314.

Vapnik, V. N. 1995. The Nature of Statistical Learning Theory. Springer.

Vincent, L., Soille, P. 1991. Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(6): 583–598.

Wagner, B., Dinges, A., Müller, P., Haase, G. 2009. Parallel volume image segmentation with watershed transformation: Lecture Notes in Computer Science, Editors: A.-B. Salberg, J.Y. Hardeberg, and R. Jenssen, Springer-VerlagBerlin, Heidelberg, (Vol. 5575): 420–429.

Wang, M., Liu, X., Gao, Y., Ma, X., Soomro, N. Q. 2017. Superpixel segmentation: A benchmark. *Signal Processing: Image Communication*, 56:, 28–39.

Wang, S., Summers, R. M. 2012. Machine learning and radiology. *Medical Image Analysis*, 16(5): 933–951.

Weikersdorfer, D., Gossow, D., Beetz, M. 2012. Depth-Adaptive Superpixels: Proceedings of the 21st International Conference on Pattern Recognition (ICPR2012), Tsukuba, Japan, pp: 2087–2090.

Wu, X., Liu, X., Chen, Y., Shen, J., Zhao, W. 2018. A graph based superpixel generation algorithm. *Applied Intelligence*, 48(11): 4485–4496.

Yeghiazaryan, V., Voiculescu, I. 2017. Boundary overlap for medical image segmentation evaluation: Medical Imaging 2017: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling, 3 March 2017, Editors: R. J. Webster, B. F., Orlando, Florida, United States (Vol. 10135) : 101351J

Zhang, L., Yang, H., Shi, W., Miao, Y., Li, Q., He, F., He, W., Li, Y., Zhang, H., Mori, K., Jiang, Z. 2017. An improved method for pancreas segmentation using SLIC and interactive region merging. SPIE Medical Imaging, 3 March 2017, Orlando, Florida, United States, (Vol. 101343): 101343H.

Zhang, R., Pei G., Wang L., Liu X., Li, X. 2018. An Improved Superpixel Method for Color Image Segmentation Based on SEEDS. Advances in Image and Graphics Technologies. IGTA 2017. Communications in Computer and Information Science, Editor: Wang, Y., Wang, S., Liu, Y., Yang, J., Yuan, X., He, R., Duh, H. B.-L., Springer, Singapore. (vol 757): 55–64.

Zhou, L., Schott, M., Hansen, C. 2012. Transfer function combinations. *Computers & Graphics*, 36(6): 596–606.

Zou, Y. P., Bai, D. X., Wang, S. J., Kang, Y. 2010. A new two-dimensional transfer functions for volume rendering: Proceedings of the 3rd International Congress on Image and Signal Processing (CISP 2010), Editors: Tan, Z. H., Wan, Y., Xiang, T., Song, Y., Yantai, China, pp: 3733–3736.