

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SAYISAL RADYOLOJİK GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ İÇİN GÖRÜNTÜ
İŞLEME VE DEĞERLENDİRME ARAÇLARININ VE KULLANICI
ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ**

YİĞİT ALİ ÜNCÜ

MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI

ANKARA

2013

Her hakkı saklıdır.

Yrd. Doç. Dr. Özlem BİRGÜL danışmanlığında, Yiğit Ali ÜNCÜ tarafından hazırlanan '**Sayısal Radyolojik Sistemleri için Görüntü İşleme ve Değerlendirme Araçlarının ve Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi**' adlı tez çalışması 31 Mayıs 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Özlem BİRGÜL

Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Haluk YÜCEL



Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı

Doç. Dr. Turan OLGAR



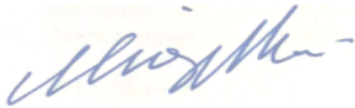
Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü

Yrd. Doç. Dr. Özlem BİRGÜL



Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç. Dr. Niyazi MERİÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAYISAL RADYOLOJİK GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME VE DEĞERLENDİRME ARAÇLARININ VE KULLANICI ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

YİĞİT ALİ ÜNCÜ

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem BİRGÜL

Geçmiş yıllarda, hem enstitüdeki sistemler kullanılarak hem de çeşitli hastanelerde bulunan farklı dijital görüntüleme sistemleri için görüntü kalitesi testleri yapılmıştır. Bu testlerde, çeşitli hazır paket programlar kullanılmaktadır. Bu programların, algoritmalarının uygulama detayları bilinmemekte ve algoritma parametrelerinin değiştirilmesi konusunda çeşitli kısıtlamaları mevcuttur. Ayrıca son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanan yeni metrikler bu programlarda mevcut değildir. Belli ölçütleri hesaplayabilmek için farklı yazılımların kullanılması zorunluluğu, bu programların çıkışlarının karşılaştırılması isteği, çıktılar arası uyumsuzluk, değerlendirme sürecinin uzaması gibi etkenlerden dolayı Enstitü bünyesindeki çalışmalarda kullanılmak üzere görüntü işleme ve görüntü kalitesinin değerlendirmesi için bütünlük bir araç ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada, sayısal görüntüleme sistemlerinden alınan görüntülerde kalite kontrol testleri ve görüntü işleme uygulama algoritmaları gerçekleştirilerek, yine tez kapsamında hazırlanmış bir kullanıcı arayüzü ile birleştirilerek bir yazılım geliştirilmiştir. Görüntü işleme modülünde, görüntü üzerinde yapılan bazı sayısal hesaplama ve sayısal radyolojik görüntüleme sistemlerinde sıklıkla kullanılan filtreler kullanılmıştır.

Görüntüleme kalitesinin sayısal değerlendirilmesi, görsel değerlendirmeye göre daha objektif sonuçlar verdiği için tez kapsamında sayısal değerlendirmeler üzerinde durulmuştur. Görüntü kalitesinin sayısal hesaplamalarından önce sinyal transfer fonksiyonu düzeltilmesi yapılmıştır. Kenar görüntüleme metodu kullanımında açı hesaplamaları yapılmıştır. Farklı ilgi alan seçimlerinde (ROI) kenar dağılım fonksiyonlarının (ESF) nasıl değiştiği gözlemlenmiş, farklı türev seçimlerinin çizgisel dağılım fonksiyonu (LSF) ve modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) üzerine etkisi ve ince gruplama işleminin ESF, LSF, MTF üzerine etkileri incelenmiştir. Gürültü güç dağılımı (NPS) hesaplamaları yapılmış ayrıca farklı ilgi alanı ve alt ilgi alanları boyutlarında NPS değişimleri incelenmiş, dedeksiyon kuantum etkinliği (DQE) hesaplamaları farklı frekans aralıklarında yapılmıştır. Bütün bu yöntemleri kullanıcıya sunmak için MATLAB programı kullanılarak tasarlanan ve gerçekleştirilen arayüz, modüler yapısı sayesinde ileride doğacak ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilebilir bir yapıdadır.

2013, 86 sayfa

Anahtar Kelimeler: Radyolojik görüntüleme sistemleri, görüntü kalitesi değerlendirme, modülasyon transfer fonksiyonu, gürültü güç dağılımı, dedeksiyon kuantum etkinliği, görüntü işleme, MATLAB, kullanıcı arayüzü

ABSTRACT

Master Thesis

IMPLEMENTATION OF IMAGE PROCESSING AND QUALITY ASSESSMENT TOOLS FOR DIGITAL RADIOLOGICAL IMAGING SYSTEMS AND DEVELOPMENT OF A USER INTERFACE

YİĞİT ALİ ÜNCÜ

Ankara University, Institute of Nuclear Science
Department of Medical Physics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özlem BİRGÜL

In recent years, image quality tests were conducted using digital imaging systems both at our institute and at various hospitals. Various software packages are used in these studies. Implementation details of the algorithms of these packages are not known in detail and there are many restrictions on changing the parameters of the algorithms. Moreover, some new metrics that are introduced in recent years, are not available in these programs. Due to the necessity of using different programs for different metrics, the difficulty of comparing outputs of many programs, compatibility issues between outputs and prolonged evaluation times, an integrated image processing and image quality evaluation tool need was emerged.

In this study, quality control and image processing algorithms were developed, implemented and tested using images acquired various radiological imaging systems and these algorithms were integrated with a user interface which was also developed within thesis work. In the image processing module, numerical calculations some of the commonly used filters for digital radiographic imaging systems are implemented.

Quantific evaluation of imaging quality is more objective than visual evaluation and therefore, we focused on this type of analysis within the thesis work. All calculations were made after signal transfer function correction. Slanted edge method was selected for the calculation of modulation transfer function (MTF). Effect of different region-of-interest (ROI) selection on edge spread function (ESF), use of different differentiation methods for line spread function (LSF), and effect of different rebinning sizes on ESF, LSF and MTF were investigated. Noise power spectrum (NPS) was calculated using different ROIs and number of subregions and results were compared. Detective quantum efficiency (DQE) was calculated using different frequency resolutions. All these methods were combined within a user interface prepared using MATLAB and this software is designed in an expandable manner to accommodate new needs and modules.

2013, 86 pages

Key words: Radiological imaging system, evaluation of image quality, modulation transfer function, noise power spectrum, detective quantum efficiency, image processing, MATLAB, user interface

TEŐEKKÖRLER

Bu çalışmada her konuda bana yardım eden danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Özlem BİRGÖL'e, desteklerinden dolayı Prof. Dr. Doėan BOR'a, yardımlarından dolayı Emre GÖLLÖOėLU, Alptuė Őzer YÖKSEL, M. Anıl USLU, Elif ÖNAL ve Ersin KANBERLİ'ye ve ayrıca tüm çalışma ve iő arkadaşlarıma, en önemlisi de çalıőmalarım boyunca varlıklarını ve desteklerini esirgemeyen annem Aysel Fatma ÖNCÖ, babam Mehmet Ali ÖNCÖ ve abim Mert ÖNCÖ'ye gösterdikleri sabır için sonsuz teşekkürler.

Yiğit Ali ÖNCÖ

Ankara, Haziran 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	3
2.1. Radyolojik Görüntüleme Sistemleri.....	3
2.2. X-ışın Görüntüleme Sistemleri Ana Bileşenleri	3
2.3. Radyolojik Sistemlerde Görüntü Kalitesi Parametreleri.....	7
2.3.1. Kontrast	7
2.3.2. Ayırma Gücü	7
2.3.3. Bulanıklık.....	8
2.3.4. Gürültü.....	8
2.4. Görüntü Kalitesi Testleri	9
2.4.1. Görüntü Kalitesinin Görsel Olarak Belirlenmesi	9
2.4.2. Görüntü Kalitesinin Sayısal Olarak Belirlenmesi	10
2.4.2.1. Modülasyon Transfer Fonksiyon (Modulation Transfer Function, <i>MTF</i>).....	11
2.4.2.2. Gürültü Güç Dağılımı (Noise Power Spectrum, <i>NPS</i>).....	13
2.4.2.3. Dedeksiyon Kuantum Etkinliği (Detective Quantum Efficiency, <i>DQE</i>)	15
3. YÖNTEM.....	17
3.1. Kullanılan Görüntü İşleme Yöntemleri.....	17
3.1.1. Görüntü Üzerinden Sayısal Hesaplamalar	18
3.1.2. Filtreleme	19
3.2. Görüntü Kalitesinin Sayısal Hesaplanması	25
3.2.1. Modülasyon Transfer Fonksiyonun Hesaplanması	25
3.2.1.1. Kenar Görüntünün Alınması.....	26
3.2.1.2. Görüntüden Kenar Açısının Hesaplanması	27
3.2.1.3. Kenar Dağılım Fonksiyonun (Edge Spread Function, <i>ESF</i>) Bulunması...28	
3.2.1.4. Çizgisel Dağılım Fonksiyonun (Line Spread Function, <i>LSF</i>) Bulunması	32
3.2.1.5. Fourier Dönüşümü (<i>FT</i>) Kullanılarak Modülasyon Transfer Fonksiyonun Bulunması.....	33
3.2.2. Gürültü Güç Dağılımının Hesaplanması	33
3.2.3. Dedeksiyon Kuantum Etkinliği Hesaplanması	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Kullanılan Sistemler ve Veriler	37
4.2. Sinyal Transfer Fonksiyonu Kullanılarak Piksel Değerlerinin Düzeltilmesi.	39
4.3. Açık Hesaplamalarının Karşılaştırılması	39
4.4. Farklı İlgili Alan Seçimlerinin Kenar Dağılım Fonksiyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi.....	40
4.5. Farklı Türev Seçimlerinin Çizgisel Dağılım Fonksiyonu ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi	42

4.6.	Farklı İnce Gruplama Kullanımlarının Kenar Dağılım Fonksiyonu, Çizgisel Dağılım Fonksiyonu ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu Üzerine Etkileri	46
4.7.	Farklı İlgili Alanları ve Piksel Sayısı Seçimlerinin Gürültü Güç Dağılım Üzerine Etkileri	48
4.8.	Farklı Sistemlerde Modülasyon Transfer Fonksiyonu, Gürültü Güç Dağılımı ve Dedeksiyon Kuantum Etkinliğinin Değerlendirilmesi	50
5.	SONUÇ.....	61
	KAYNAKLAR	65
	EKLER.....	69
	EK 1	70
	EK 2	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER DİZİNİ

σ	Varyans
N_x	x- yönündeki piksel sayısı
N_y	y- yönündeki piksel sayısı
M	İlgi alan sayısı
I	$n \times m$ boyutlu piksel matrisi
f	Uzaysal frekans
q	Birim alan ve ışınlama başına dedektöre gelen foton sayısı
Φ	Foton akısı
X	Işınlama değeri

Kısaltmalar

DQE	Dedeksiyon kuantum etkinliği
ESF	Kenar dağılım fonksiyonu
FT	Fourier dönüşümü
LSF	Çizgi dağılım fonksiyonu
MTF	Modülasyon transfer fonksiyonu
NBEGKY	Ankara Nükleer Bilimler Enstitüsü Görüntü İşleme ve Kalite Kontrol Yazılımı
NPS	Gürültü güç dağılımı
NNPS	Normalize gürültü güç dağılımı
NEQ	Gürültü eşdeğer kuantası
Rebinning	İnce gruplama
STP	Sinyal transfer fonksiyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 X-ışın tüpü ve jeneratörü	4
Şekil 2.2 Taramalı Sistemler	5
Şekil 2.3 Dijital radyografi sistemleri	6
Şekil 2.4 Modülasyon transfer fonksiyonu	11
Şekil 2.5 Modülasyon transfer fonksiyonunun frekans uzayında gösterimi	12
Şekil 2.6 Gürültü güç dağılımı	14
Şekil 3.1 Modülasyon transfer fonksiyonu akış diyagramı.....	26
Şekil 3.2 IEC 62220-1 standardına göre kenar görüntüsü örneği (IEC 2003).....	27
Şekil 3.3 Farklı satır bilgilerinden elde edilen kenar dağılım fonksiyonları.....	29
Şekil 3.4 Tüm görüntüden elde edilen kenar dağılım fonksiyonu	29
Şekil 3.5 Koordinatları değişen kenar görüntüsü.....	30
Şekil 3.6 Yüksek çözünürlüklü kenar dağılım fonksiyonu	31
Şekil 3.7 Çizgisel dağılım fonksiyonu	32
Şekil 3.8 Gürültü güç dağılımı akış diyagramı	33
Şekil 3.9 IEC 62220-1 standardına göre seçilen ilgi alan örneği (IEC 2007).....	34
Şekil 3.10 Düşük frekans bilgisine sahip görüntü.....	35
Şekil 3.11 Fourier dönüşümü yapılarak elde edilen iki boyutlu gürültü güç dağılımı....	35
Şekil 3.12 Tek boyutlu gürültü güç dağılımı gösterimi	36
Şekil 4.1 data_MAM1 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları.....	41
Şekil 4.2 data_MAM2 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları.....	41
Şekil 4.3 data_MAM3 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları.....	42
Şekil 4.4 data_MAM1 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları.....	43
Şekil 4.5 data_MAM1 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları	43
Şekil 4.6 data_MAM2 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları.....	44
Şekil 4.7 data_MAM2 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları	44
Şekil 4.8 data_MAM3 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları.....	45
Şekil 4.9 data_MAM3 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları	45
Şekil 4.10 Farklı ince gruplama seçimlerinde kenar dağılım fonksiyonları	47
Şekil 4.11 Farklı ince gruplama seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları.....	47
Şekil 4.12 Farklı ince gruplama seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları.....	48
Şekil 4.13 Farklı ilgi alanlarında hesaplamaların gürültü güç dağılımına etkileri.....	49
Şekil 4.14 Farklı alt ilgi alanların hesaplamaların gürültü güç dağılımına etkileri.....	49
Şekil 4.15 data_FP1 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları.....	50
Şekil 4.16 data_FP2 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları.....	51
Şekil 4.17 data_DRX1 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları.....	51
Şekil 4.18 data_DRX2 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları.....	52
Şekil 4.19 data_MAM11 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları	53
Şekil 4.20 data_FP11 için gürültü güç dağılımı fonksiyonu karşılaştırmaları.....	55
Şekil 4.21 data_FP12 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmalar	55
Şekil 4.22 data_DRX11 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları.....	56

Şekil 4.23 data_DRX12 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları.....	56
Şekil 4.24 data_DRX21 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları.....	57
Şekil 4.25 data_DRX22 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları.....	57
Şekil 4.26 data_FP1 ve data_FP11 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği	58
Şekil 4.27 data_FP2 ve data_FP12 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği	59
Şekil 4.28 data_DRX1 ve data_DRX11 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği	59
Şekil 4.29 data_DRX2 ve data_DRX21 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Kullanılan Sistemler.....	37
Çizelge 4.2 Farklı sistemlerden alınan kenar görüntüleri ve homojen görüntüler.....	38
Çizelge 4.3 Verilerin görüntüleme parametreleri.....	38
Çizelge 4.4 Farklı ilgi alan seçimlerinde aç ı karşılaştırılmaları.....	39

1. GİRİŞ

Sayısal görüntüleme sistemlerindeki görüntü kalitesinin görsel ve sayısal yöntemlerle değerlendirilmesi mümkündür. Görüntü kalitesini görsel olarak değerlendirmek için yüksek kontrast uzaysal ayırma gücü, düşük kontrast ayırma gücü ve kontrast ayrıntı ölçümleri gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler için tasarlanmış birçok fantom ile görüntü kalitesi testleri görsel olarak yapılabilir. Ancak, görsel değerlendirme yöntemleri, değerlendiren kişilere göre değişiklik gösterebildiğinde böyle bir bağımlılığı olmayan sayısal değerlendirme yöntemleri tercih edilmektedir.

Görüntü kalitesinin sayısal değerlendirilebilmesi için zaman uzayında kontrast ve sinyal gürültü oranı ölçümleri, frekans uzayında ayırma gücünün ifadesi olan modülasyon transfer fonksiyonu (*MTF*) ve frekansa bağlı gürültü boyutunu ifade eden gürültü güç dağılımı (*NPS*) hesaplanabilir. Ayrıca sistemin foton kullanma yeteneğinin ifadesi için dedeksiyon kuantum etkinliği (*DQE*) hesaplanması tüm sistemin görüntü kalitesini gösteren ifadelerdendir.

Sayısal görüntüleme sistemleriyle alınan görüntülerde, sistemin yapısından kaynaklı istenmeyen etkiler ve bir takım fiziksel nedenlere bağlı olarak bozulmalar olabilmektedir. Birçok uygulamada görüntülerin değerlendirilebilmesi için ön görüntü işleme araçları kullanılır. Bu işlemlerin temel amacı görüntüde oluşmuş bozuklukları gidermek, görüntü kalitesini arttırmak veya incelenmek istenen özelliklerin belirginleştirilmesi olabilir. Bu matematiksel işlemler hem frekans hem de zaman uzayında yapılabilmektedir.

Ankara Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde geçmiş yıllarda hem enstitüdeki sistemler kullanılarak hem de çeşitli hastanelerde bulunan farklı sistemler için görüntü kalitesi testleri yapılmıştır. Bu testlerde OBJ, ImageJ gibi hazır paket programlar kullanılmıştır. Bu programlar kalite kontrol çalışmalarında sıklıkla kullanılmakla birlikte özellikle OBJ programında görüntü kalitesi algoritmalarının uygulama detayları bilinmediği gibi algoritma parametrelerinin değiştirilmesi konusunda da çeşitli kısıtlamalar mevcuttur. Ayrıca son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlayan *DQE* gibi hesaplamalar programda

mevcut değildir. Belli ölçütleri hesaplayabilmek için farklı yazılımların kullanılması zorunluluğu, bu programların çıktıların karşılaştırılması isteği, çıktılar arası uyumluluk, değerlendirme sürecinin uzaması gibi etkenlerden dolayı Enstitü bünyesindeki çalışmalarda kullanılmak üzere görüntü işleme ve görüntü kalitesinin değerlendirmesi için bütünleşik bir araç ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu tezin amacı, sayısal radyolojik görüntüleme sistemleri için tek bir yazılımda görüntü işleme ve kalite kontrol araçlarının birleştirilmesi ve kullanıcı arayüzünün geliştirilmesidir. Bu tezde, öncelikle sayısal radyolojik görüntüleme sistemlerinde sıklıkla ihtiyaç duyulan görüntü işleme yöntemleri gerçekleştirilecektir. Sonrasında, radyolojik sistemler için büyük önem taşıyan kalite kontrol testlerinde kullanılan sayısal değerlendirme yöntemleri uygulanacaktır.

Yazılımlar, görüntü işleme ve teknik hesaplamalar için yaygın olarak tercih edilen yazılım geliştirme aracı olan MATLAB kullanılarak geliştirilecektir. Kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla bütün hesaplamalar, tez kapsamında tasarlanacak ve gerçekleştirilecek olan bir kullanıcı arayüzü üzerinden yapılacaktır. Görüntü işleme ve değerlendirme araçları geliştirilirken planlanan arayüz, genişletilebilir olacak bu sayede ileride farklı kullanıcılar tarafından müdahale edilebilir bir özellik taşıyacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bu bölümde radyolojik görüntüleme sistemlerinin ortak özellikleri, görüntü kalitesi parametreleri ve görüntü kalite testlerinin belirlenmesinde kullanılan görsel ve sayısal değerlendirme yöntemlerinin temellerine yer verilecektir.

2.1. Radyolojik Görüntüleme Sistemleri

Tıbbi amaçlı görüntüler, elektriksel, sonik veya radyolojik gibi birbirinden farklı yöntemlerle üretilmektedir. Radyolojik görüntüleme için vücudun kesitsel görüntüsünün oluşturulmasında x-ışınları veya elektromanyetik alanlar kullanılır. Bu nedenle diğer görüntüleme yöntemlerinin aksine çok farklı bir yöntem izleyen bu cihazlar vasıtasıyla yapılan görüntülemeye radyolojik görüntüleme denir.

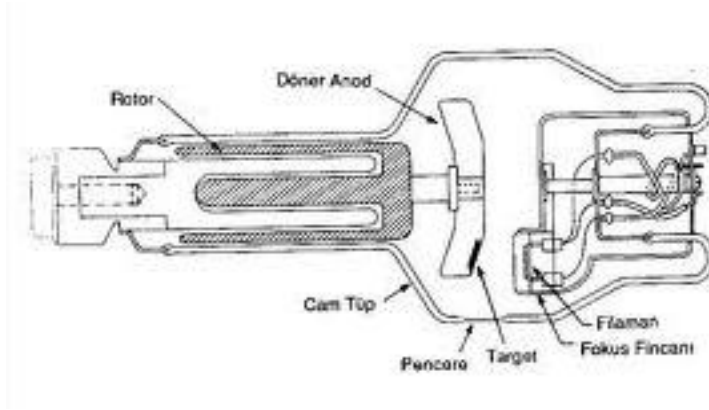
Tez kapsamında, sayısal radyolojik görüntüleme sistemleri olan mamografi, floroskopi ve dijital radyografi sistemlerinden elde edilen veriler kullanılacaktır.

2.2. X-ışın Görüntüleme Sistemleri Ana Bileşenleri

X-ışın görüntüleme cihazlarını incelediğimizde bu ana grubun altında bir önceki bölümde de anlatıldığı gibi birçok cihazın olduğunu görülmektedir. Bu cihazların bir ana grup altında toplanmasının nedeni benzer bir çalışma prensiplerinin olmasıdır. Bunlar genel olarak x-ışın tüpü, x-ışın jeneratörü ve görüntüleme sistemidir. Farklı x-ışın görüntüleme sistemlerinde bu kısımlar benzer özellik göstermelerine rağmen kullanım alanı ve çeşitlerine göre kendi içinde farklılıkları da mevcuttur.

X-ışın tüpleri, jeneratörden gelen elektrik enerjisini radyasyon ve ısı gibi diğer enerjilere çeviren sistemdir. Bu kısım içerisinde katot (negatif yüklü) ve anot (pozitif yüklü) olarak isimlendirilen iki elektrot bulunan vakumlu bir tüpten oluşmaktadır. Jeneratörden gelen elektrik enerjisiyle katottan üretilen serbest elektronlar katot ve anot arası voltaj ile hızlandırılıp hedefe (anot) çarptırılır ve böylelikle hedefte x-ışın fotonları üretilmiş olur (Şekil 2.1).

Görüntüleme sistemlerinde yapılan çalışma ve sistemlere göre hedef maddeleri değişmektedir. Floroskopi ve röntgen sistemleri için genelde Tungsten (W), Rodyum (Rh) maddeleri kullanılmaktadır. Mamografi sistemleri için ise Molibdenyum-Molibdenyum (Mo/Mo), Molibdenyum-Rodyum (Mo/Rh), Rodyum-Rodyum (Rh/Rh) sıklıkla kullanılan hedef filtre kombinasyonlarıdır.



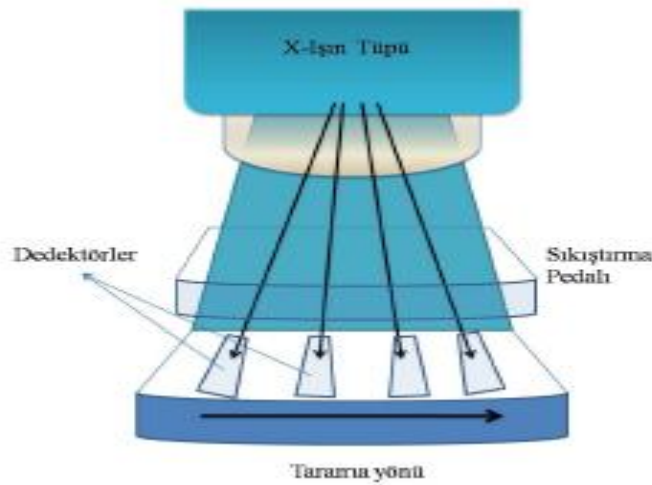
Şekil 2.1 X-ışın tüpü ve jeneratörü

X-ışın tüpleri sistemlere göre özel tasarlanmaktadır. Yüksek enerjili x-ışınları kullanılan röntgen ve floroskopi sistemlerinde olduğu gibi tüp penceresi genelde camdan, düşük enerjili x-ışınları kullanan mamografi sistemlerinde genelde berilyumdan yapılmaktadır.

X-ışın jeneratörü, x-ışın tüpünü besleyen gerilimi sağlayan kısımdır. Gücü ve dalga şekline göre çeşitlilik göstermektedir. Üç fazlı yüksek frekans jeneratörlerin ortalama olarak x-ışın enerjisi ve şiddeti, tek faza göre daha fazla ve anot üzerindeki yükü daha azdır. Ayrıca gerilimdeki dalgalanmalar daha az olduğundan yeni nesil jeneratör sistemlerinde genellikle üç fazlı yüksek frekans jeneratörler kullanılır. Floroskopi ve röntgen sistemlerinde tüp potansiyelleri 50-125 kVp, jeneratör güçleri 30-100 kW arasındadır. Mamografi sistemlerinde ise bu aralık genelde 25-49 kVp arasında ve jeneratör güçleri ise 3-10 kW arasındadır.

Dijital görüntüleme sistemleri genelde konvansiyonel sistemlere benzemektedirler. Aralarındaki farklılık, konvansiyonel sistemlerde film ekran sistemi ile görüntü elde edilirken dijital sistemlerde ise x-ışınlarının farklı dedektör tasarımlarıyla farklı etkileşimler yapması sonucu dijital görüntüler elde edilir. Günümüzde görüntü sistemlerinde kullanılan dedektörler, film ekran sistemlerinin yerini almaktadır. Dedektör tasarımları sistemlere göre ve uygulamalara göre farklılıklar gösterirler. Bunları genel olarak taramalı sistemler ve düz alan (flat panel) sistemler olarak ayırmak mümkündür.

Taramalı sistemler, sintilasyon fosforu, fiber optik bağlantı ve CCD (Charge Couple Device) dizisinden oluşur (Şekil 2.2). Bu sistemde x-ışını önce görünür ışığa dönüşür, görünür ışık lens ya da fiber-optik kanallardan CCD (gelen ışığı elektronik sinyale çeviren devre elemanı) üzerine odaklanır. CCD yük değişimini algılar ve sinyale dönüştürür (Şekil 2.3).

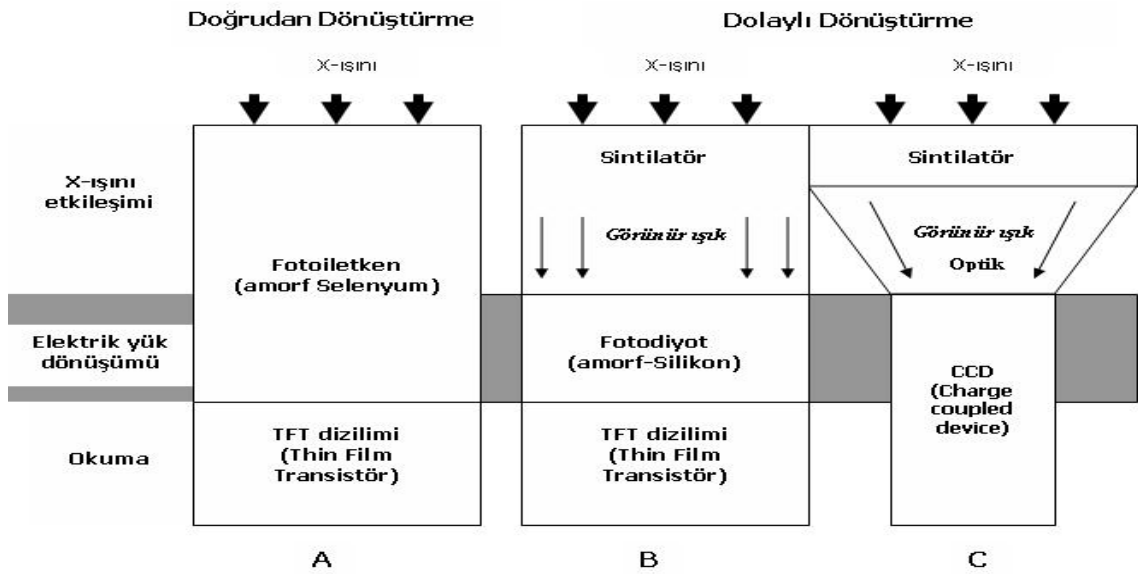


Şekil 2.2 Taramalı Sistemler

Düz alan (flat panel) sistemleri doğrudan ve dolaylı dönüştürme sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrudan dönüştürme sisteminde elektrik yüküne dönüşüm tek aşamada gerçekleşir. X-ışını, ışın-iletken (photoconductor) bir madde aracılığıyla doğrudan yük oluşturur. Bu sistemde sıklıkla ışın-iletken olarak amorf selenyum kristali (a-Se) kullanılmaktadır.

Dolaylı dönüştürme sisteminde ise iki basamaklı bir işlem gerçekleşmekte, önce x-ışını sintilasyon (görünür ışığa dönüştürme) özelliğine sahip bir madde ile etkileşerek görünür ışığa dönüşmekte, daha sonra görünür ışık bir yük değişimi meydana getirmektedir. Bu sistemde sıklıkla kullanılan sintilasyon kristali, sezyum iyodür (CsI) ya da gadolinyum oksisülfid (GOS) kristalleridir (Şekil 2.3).

Dedektörlerde yük değişimi sonrası ortaya çıkan elektrik akımı, elektronik okuma düzenekleri tarafından algılanmakta ve ardından analog-dijital dönüştürme (analog-digital conversion / ADC) işlemi ile dijital veriye çevrilmektedir. Böylelikle görüntüler elde edilmektedir (Şekil 2.3). Dedektör sistemleri, floroskopi, mamografi ve radyografi gibi sistemlerde kullanım alanı ve üreticiye göre çeşitlilik göstermektedir (Papp 2002).



Şekil 2.3 Dijital radyografi sistemleri

X-ışın görüntüleme sistemlerindeki görüntü kalitesi, sistemlerin özelliklerine, görüntüleme yöntemine, ışınlama parametrelerine ve hasta kalınlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

2.3. Radyolojik Sistemlerde Görüntü Kalitesi Parametreleri

Medikal görüntülerin kalitesi, kullanılan görüntüleme yöntemlerine ve görüntüleme yöntemlerinin özelliklerine bağlıdır. Görüntü kalitesini etkileyen çeşitli faktörler mevcuttur. Bunlar kontrast, bulanıklık, gürültü ile görüntü bozuklukları ve kusurları olarak tanımlanabilir.

2.3.1. Kontrast

Bir objeye yönlendirilen x-ışın demeti, obje ortamında yaptığı etkileşimler sonucunda çıkışta obje ile ilgili bilgiler içerir. Bu bilginin görüntülenebilmesi için, x-ışın demeti uygun bir detektöre yönlendirilerek görüntü elde edilir.

Radyolojik görüntüleme de görüntülenecek objeden (hasta) çıkan x-ışın demeti, etkileşmelerin olduğu alandaki ışınlama farklılıklarını içeren bir x-ışın görüntüsüdür. Bu öznel görüntünün en önemli özelliği taşıdığı kontrast bilgisidir. Çünkü herhangi bir objenin gözlenebilmesi, içerdiği kontrasta bağlıdır. Bu bağlamda kontrast, görüntülenecek noktalar arasında X-ışın miktarındaki farklılıklar olup, etkileşmenin olduğu objenin fiziksel özelliklerine ve X-ışın demetinin giriciliğine bağlıdır. Kontrastı etkileyen faktörler, görüntülenecek objenin özellikleri (kalınlığı, yoğunluğu ve atom numarası), x-ışın demet giriciliği ve saçılan radyasyon miktarına bağlıdır.

Kontrast çeşitlerini üçe ayırmak mümkündür. Bunlar herhangi bir objenin görüntülenmesiyle oluşan obje kontrastı, objeyle etkileşen X-ışın demetinin belirli ışınlama farklılıkları içermekte olup gözle görülmeyen hayali görüntüdeki oluşan öznel kontrast ve görünür görüntüde ortaya çıkan görüntü kontrastıdır (Bor 2002).

2.3.2. Ayırma Gücü

Sayısal radyolojik sistemlerinde ayırma gücü, görüntüde birbirlerine çok yakın objelerin ayırt edilebilme özelliğidir. Ayırma gücü görüntüdeki iki ayrı noktayı ayırabilme yeteneği olması, milimetredeki çizgi çifti sayısı olarak tanımlanabilir. Ayırma gücü bu gibi görsel değerlendirmelerle ifade edilebildiği gibi ayrıca bir sistemin ayırma gücünü

yarı yükseklikteki tam genişlik (YYTG) ve modülasyon transfer fonksiyonu (*MTF*) ile sayısal olarak değerlendirmek mümkündür.

2.3.3. Bulanıklık

Görüntülenebilecek en küçük obje boyutu görüntüleme yöntemine bağlıdır. Her sistem görüntüleme işlemine bir miktar bulanıklık getirir. İdeal şartlarda objedeki her küçük bölge, görüntüde de aynı şekilde olmalıdır. Ancak nokta görüntüsü dağılma yaparak bulanıklık oluşmaktadır. Bu durum bir şekle ait ayrıntıların gözden uzaklaştıkça net olarak algılanmamasına benzetilebilir.

Görüntü bulanıklığından dolayı görüntülerdeki küçük boyuttaki oluşumların görüntü kontrastını ve gözlenebilirlikleri azaltmaktadır. Böylelikle bulanıklığın görüntü üzerindeki etkileri, keskinliğin azalması ve ayırma gücünün bozulması olarak ifade edilebilir (Bor 2002).

2.3.4. Gürültü

Sayısal radyolojik görüntüleme sistemlerinde, görüntü kalitesini etkileyen bir diğer parametre gürültüdür. Görüntü kalitesini bozan ancak bütünüyle önlemeyen parametrelerden birisidir. Gürültü, gözlenemeyen ve gözlenen objeler arasındaki sınırı etkilediğinden dolayı özellikle düşük kontrastlı objelerde gürültünün etkisi daha fazla görülmektedir. Gürültünün genel olarak iki kaynağı vardır. İlki sistem elektroniklerinden kaynaklı sistematik nedenler yani elektronik gürültüdür. İkincisi ise x-ışınlarının tesadüf özelliği olan kuantum gürültüdür (Bor 2002).

2.4. Görüntü Kalitesi Testleri

Sayısal radyolojik sistemlerde görüntü kalitesini birçok faktör etkilemektedir. X-ışın spektrumu (demet enerjisi ve x-ışın şiddeti), ışınlama geometrisi, odak noktası ve büyütme faktörleri, saçılan ışınlar, farklı dedektör yapıları (dolaylı ve dolaysız sistemler) ve sistemlerin elektronik yapısından kaynaklı etkenler bunların bir kısmıdır.

Görüntü kalite testlerinin değerlendirmesinde kullanılan yöntemler ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki görüntü kalitesinin görsel olarak değerlendirilmesi, ikincisi ise görüntü kalitesinin sayısal olarak değerlendirmesidir.

2.4.1. Görüntü Kalitesinin Görsel Olarak Belirlenmesi

Görsel değerlendirme için çeşitli test fantomları geliştirilmiştir. En sık kullanılan görsel testler, yüksek kontrast ayırma gücü, düşük kontrast ayırma gücü ve kontrast ayrıştırma testidir. Yüksek obje kontrastına sahip objeleri ayırt edebilme gücü, yüksek kontrastta farklı uzaklıklarda çizgi çiftlerinden oluşan bir fantom (ör. Huttner) kullanılarak belirlenebilir. Düşük kontrasttaki objeleri ayırma gücünü belirlemek içinse farklı kontrast seviyelerinde bölgeler içeren (ör. LCDD) bir deney fantomuna ihtiyaç vardır. Görüntülenebilen eşik kontrast testleri için farklı boyut ve obje kontrastında yapılar içeren detaylı test objeleri kullanılabilir (ör. CDRAD).

Görsel değerlendirme, sayısal değerlendirmeye göre daha basit ölçümlerle yapılabilir. Ancak, görsel değerlendirme sonuçları değerlendiren kişilere bağımlılığı ve sayısal hesaplamalar yoluyla elde edilmediğinden, daha sübjektif sonuçlar vermektedir.

2.4.2. Görüntü Kalitesinin Sayısal Olarak Belirlenmesi

Görüntü kalitesi değerlendirme yaklaşımlarından ikincisi, görüntü kalitesinin sayısal olarak hesaplanmasıdır. Bu değerlendirme işleminde, birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan, kontrast ve sinyal gürültü oranı ölçümleri, yarı yükseklikteki tam genişlik hesabı (YYTG), modülasyon transfer fonksiyonu (*MTF*), gürültü gücü dağılımı (*NPS*), dedeksiyon kuantum etkinliği (*DQE*) en sık kullanılanlar arasındadır.

Kontrast oranı, görüntü üzerinde farklı kontrast bölgelerinden seçilen iki ilgi alanındaki sayım değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Bu oran, lezyona karşılık gelen bir ilgi alanındaki sayım sayısı ile homojen ilgili alanındaki sayım sayısının farkının homojen alandaki sayıma bölünmesiyle hesaplanabilir. Böylelikle, görüntü üzerindeki bölgeler arası x-ışın miktarındaki farklılıklar tespit edilebilmektedir.

$$C = \frac{N_{homojen} - N_{lezyon}}{N_{homojen}} \quad \text{Denklem 2-1}$$

Sinyal gürültü oranı (Signal-to-noise ratio, SNR), görüntü kalitesinin değerlendirilmesinde önemli bir sayısal parametredir. Görüntülerde SNR değerinin düşük olması, görüntü kalitesinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumun tersi de doğrudur. SNR hesabı ise kullanılan görüntüdeki homojen alandan alınan ortalama sayımın (piksel değerinin) lezyondan alınan sayımlarından çıkarılması ve elde edilen değerlerin toplamının kara köküne bölünmesiyle hesaplanabilir (Bor, 2009).

$$SNR = \frac{N_{homojen} - N_{lezyon}}{\sqrt{N_{homojen} + N_{lezyon}}} \quad \text{Denklem 2-2}$$

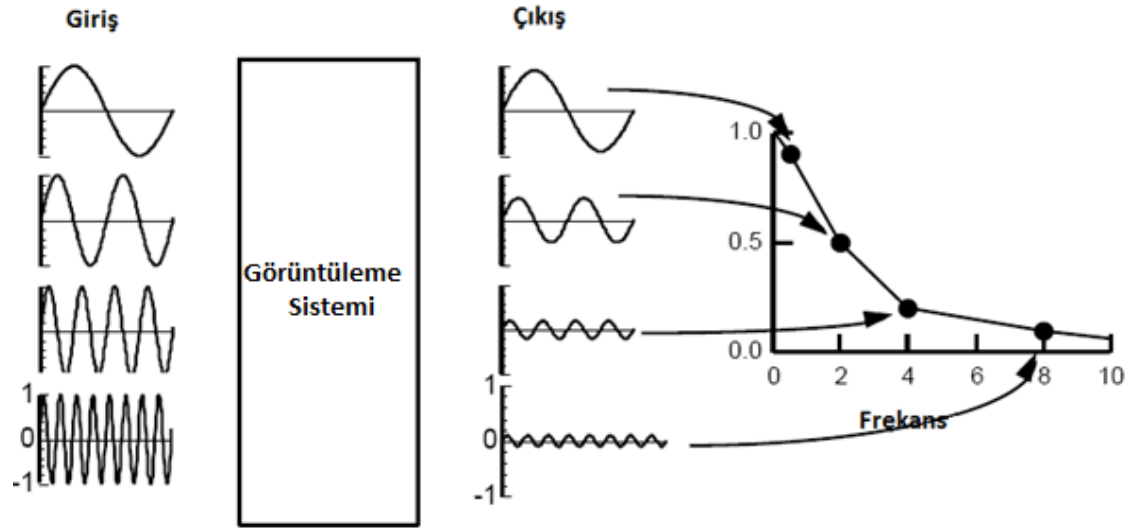
Yarı yükseklikte tam genişlik (YYTG), uzaysal ayırma gücü değeri hakkında bilgi veren diğer bir ölçüttür ve görüntüdeki birbirine çok yakın iki objenin görüntülenebilmesi hakkında bilgi verir. Yüksek kontrast cisim bulunan bir görüntüde, cisimden geçen bir kesit görüntüsü alınır. Cismin tepe değerinin yarıya düştüğü iki nokta arasındaki genişlik hesaplanır. Ayırma gücü hesaplamalarında, piksel boyutu

YYTG değerinin en az yarısı kadar seçilebilir (iki pikselin birbirinden ayırt edilebilmesi için aralarında en az bir piksellik mesafe olmalıdır).

Tez kapsamında, sayısal değerlendirme yöntemlerinden frekans ortamında sistemin görüntüleme sınırları ile ilgili bilgiler içeren modülasyon transfer fonksiyonu, gürültü güç dağılımı ve dedeksiyon kuantum etkinliği kullanılmış olup, bu dağılım ve metrikler bir sonraki kısımda detayı olarak anlatılmıştır.

2.4.2.1. Modülasyon Transfer Fonksiyon (Modulation Transfer Function, *MTF*)

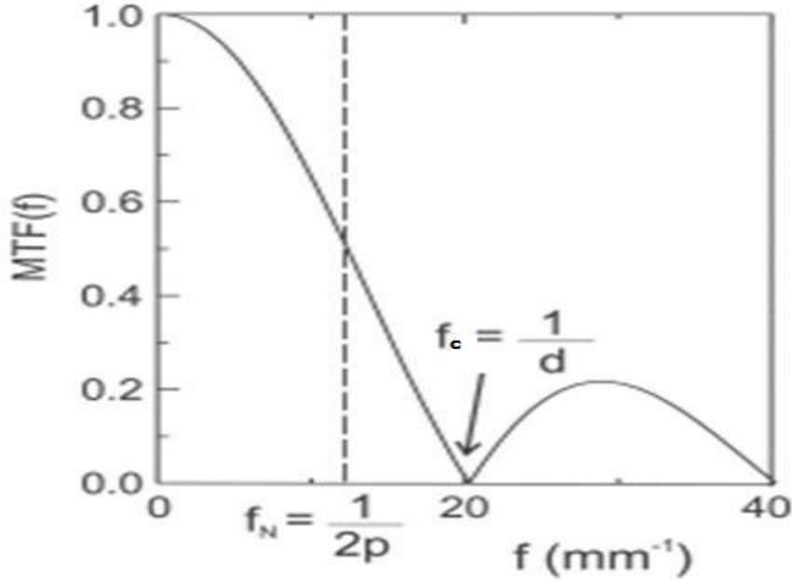
Görüntüleme sistemlerinde ayırma gücünün ölçülmesinde sıklıkla kullanılan yöntem modülasyon transfer fonksiyonudur ve sistemin frekans ortamında ayırma gücünü belirleyen bir dağılımdır (Samei *et al.* 1998). Bir görüntüleme sisteminin girişine aynı genlikte fakat farklı frekanslarda bir giriş sinyali uygulandığında, sistemin çıkışında elde edilen bilginin genliği yüksek frekanslara gidildikçe düşer (Şekil 2.4) (Dobbins III *et al.* 2006). Böylelikle sistemin belirlenen bir seviye üzerinde (gürültü seviyesinin üzerinde) çıkış verdiği bir frekans sınırı ulaşılmaktadır. Bu frekans, sistemin ayırma gücü sınırını ve Nyquist frekansı ile ifade edilir.



Şekil 2.4 Modülasyon transfer fonksiyonu

Nyquist teoreminde göre, Nyquist frekansı piksel boyutunun iki katının tersine eşittir. Yine bu teoreme göre, kesim frekansı (*cut-off*) piksel boyutunun tersi olarak tanımlanır

(Şekil 2.5). Görüntüleme sistemlerinde, Nyquist frekansı üzerindeki bilgiler görüntülenmemektedir. Bu durumda, görüntüde bu frekanstan yüksek frekansta yer alan bilgiler, daha düşük frekanslar değerlerinde katlamalar (*aliasing*) oluşturmaktadır (IPEM 2010).



Şekil 2.5 Modülasyon transfer fonksiyonunun frekans uzayında gösterimi

Görüntülerde, Nyquist frekansından yüksek frekanstaki bilgiler doğrudan alınamıyorsa da uygun deney geometrisi ve yöntemler kullanılarak dedektörde yüksek frekans bilgilerin alınması mümkündür.

Modülasyon transfer fonksiyonun pratik olarak ölçülmesi için çeşitli ölçüm geometrileri kullanılabilir. Yarık fantomu görüntüsü metodu (Samei *et al.* 1998), çizgi desen fantom metodu ve kenar görüntüleme metodu (Samei *et al.* 1998) en çok bilinen metotların arasındadır.

Tez kapsamında kenar görüntüleme metodu kullanılmıştır. Bu metotta ilk aşamada, görüntüdeki kenarın tespit edilmesi ve açısının bulunması gerekmektedir. Kenar tespiti ve kenar açısı bulunması için birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan bazıları açılı kenara bir doğrunun çakıştırılması, kenar açısının eğim hesabı, Hough dönüşümü, Radon

dönüşümü olarak sıralanabilir. Farklı yöntemler denendikten sonra bu çalışmada kullanılmak üzere Hough dönüşümü seçilmiştir (Scharcanski 1997).

Hough dönüşümü, matematiksel olarak ifade edilebilen tüm şekillerde kullanılabilen ve sayısal görüntü işlemede şekillerin varlığının, yerinin, kenar açılarının bulunmasında tercih edilen bir dönüşüm yöntemidir (Dobbins *et al.* 2006). Dönüşümün uygulama detayları yöntem kısmında anlatılmıştır.

Kenar görüntüleme metodunda öncelikle açı bilgisi kullanılarak daha sık örneklenmiş kenar dağılım fonksiyonu (*ESF*) oluşturulur. Kenar dağılım fonksiyonun türevi alınarak çizgisel dağılım fonksiyonu (*LSF*) bulunur. Çizgisel dağılım fonksiyonu, sistemin farklı frekanslardaki giriş sinyallerine tepkisi ile ilgili bilgiyi zaman uzayında gösterir. Çizgisel dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak, frekans ortamında ayırma gücünü belirleyen bir parametre olan modülasyon transfer fonksiyonu elde edilmektedir (Samei *et al.* 1998). Yukarıdaki işlemler kullanılarak tek boyutlu *MTF* hesaplanması matematiksel olarak

$$MTF(f_x) = FT \{lsf(x)\} = FT \left\{ \frac{d}{dx} [esf(x)] \right\} \quad \text{Denklem 2-3}$$

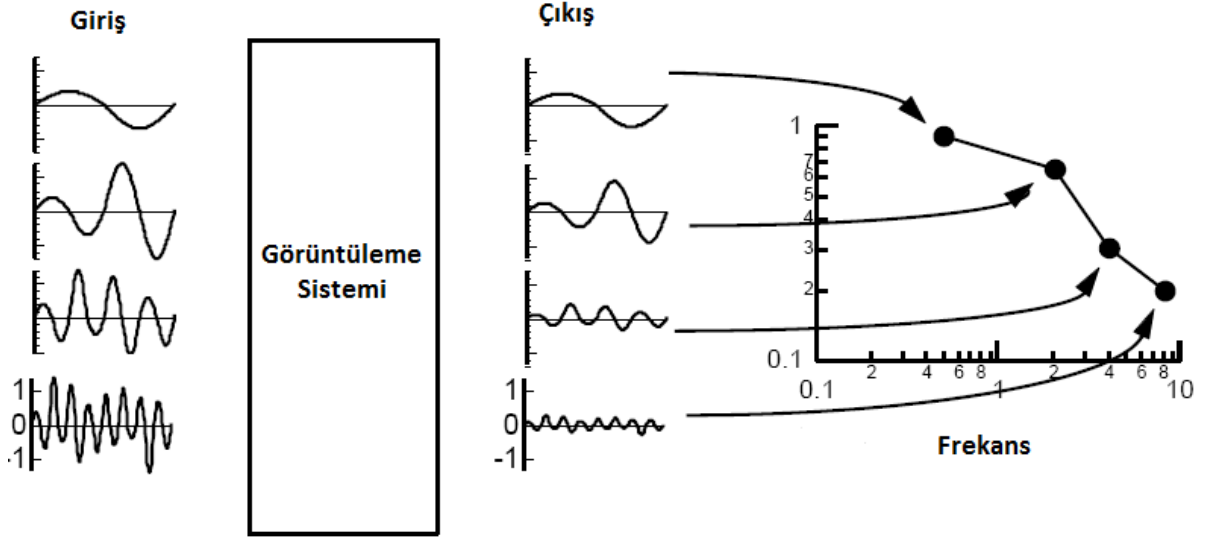
kullanılarak bulunur (IPEM 2010).

2.4.2.2. Gürültü Güç Dağılımı (Noise Power Spectrum, *NPS*)

Gürültü Güç Dağılımı, bir sistemin frekans ortamında frekansa bağlı gürültü karakteristiği hakkında bilgi elde edilebilmesi için kullanılır. Gürültünün kaynağı hem kuantum gürültüsü hem de sayısallaştırılma aşamasında oluşan gürültülerdir. Sistemin dedektör yapısına, sistemlerin doğrudan ve/veya dolaylı dönüştürme farkına ve sistemlerin elektronik yapısı gibi birçok duruma bağlı olarak farklı gürültüler eklenmektedir.

Bir görüntüleme sisteminde sayısal hale getirilen görüntülerinin yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, bölgesel şiddet farklılıkları vardır. Bu yüzden de görüntünün piksel değerleri farklılıklar içermektedir. Bu şiddet farklılığından dolayı, piksellerin değerleri

de kendi aralarında farklı olacaktır. Bu yüzden herhangi bir görüntüdeki gürültünün frekans ortamında incelenmesi gerekmektedir. Gürültünün frekansa bağlı olarak genlik değişimleri elde etmek için, gürültü güç dağılımı, ($NPS(f)$) ,ölçülmelidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Gürültü güç dağılımı

NPS hesaplanırken homojen görüntü kullanılır. Frekans uzayında iki boyutlu Fourier dönüşümü ile iki boyutlu gürültü güç dağılımı elde edilir. İki boyutlu gürültü güç dağılımı (Dobbins *et al.* 2006),

$$NPS(f_x, f_y) = \lim_{N_x, N_y, M \rightarrow \infty} \frac{\Delta x \Delta y}{M N_x N_y} \sum_{s=1}^M \left| \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)] e^{-2\pi i (f_x x_i + f_y y_j)} \right|^2 \quad \text{Denklem 2-4}$$

denklemleri ile verilir. Burada $I(x_i, y_j)$ gerçek görüntünün x_i, y_j noktasındaki pikselin sayısal değeri, $S(x_i, y_j)$, görüntüdeki düşük frekanslı ya da homojen olmayan gürültünün (Heel etkisi gibi) gerçek görüntüden ayırmak için uygulanan x_i, y_j noktasındaki değeridir. N_x, N_y görüntünün yatay ve dikey yöndeki piksel sayısıdır. $\Delta x, \Delta y$ 'de yatay ve dikey yönde piksel boyutunu ifade etmektedir. Görüntüden düşük frekanslı sistematik hatalar çıkartıldıktan sonra, iki boyutlu Fourier Dönüşümü alınarak NPS hesaplanır. M , gürültü güç dağılımının kaç farklı görüntüden ortalama alınarak hesaplandığını göstermektedir. İdealde NPS hesaplanırken farklı zamanlarda alınan M görüntü için yukarıdaki işlemler gerçekleştirilip ortalama alınması gerekir. Ancak,

sistemin durağan (stationary) olduğu varsayılarak farklı homojen görüntüler kullanmak yerine, tek bir homojen görüntüden daha küçük bölgeler seçilerek bunlar üzerinde ortalama alınabilir.

2.4.2.3. Dedeksiyon Kuantum Etkinliği (Detective Quantum Efficiency, *DQE*)

Modülasyon transfer fonksiyonu, bir sistemde görüntü kalitesini ölçümünde önemli bir parametrelerden biri olan gürültü hakkında bilgi vermemektedir. Bu nedenle sistemin tüm gürültü kaynaklarını da dikkate alarak genel kalite performansını değerlendirmek ve sistemler arasında karşılaştırma olanağı sağlamak için dedeksiyon kuantum etkinliği tanımlanmaktadır.

Dedeksiyon kuantum etkinliği, detektörün çıkışında ölçülen sinyal gürültü oranıyla, girişindeki sinyal gürültü oranının karşılaştırılması olarak ifade edilebilmektedir. Sinyal gürültü oranı cinsinden *DQE*,

$$DQE(f) = \frac{SNR_{çıkış}^2}{SNR_{giriş}^2} \quad \text{Denklem 2-5}$$

olarak tanımlanır. Dedeksiyon kuantum etkinliğinin hesaplanmasında genellikle kullanılan yöntem, modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü güç dağılımının belirlenmesi ve bunların ölçüm sonuçlarının uygun bir şekilde düzenlenmesiyle yani her ikisinin de aynı uzaysal frekanslarda değerlendirilerek elde edilmesidir. Modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü güç dağılımı cinsinden *DQE*,

$$DQE(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)qX} \quad \text{Denklem 2-6}$$

olarak hesaplanır. Eşitliğin sağ tarafında q haricindeki kısım, gürültü eşdeğer kuantası olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$NEQ(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)X} \quad \text{Denklem 2-7}$$

Denklem 2-7 ve 2-8 kullanılarak DQE aşağıdaki gibi de gösterilebilir.

$$DQE(f) = \frac{NEQ(f)}{q} \quad \text{Denklem 2-8}$$

Yukarıdaki denklemlerde $MTF(f)$ tek boyutlu modülasyon transfer fonksiyonu, $NNPS(f)$ bağıl x-ışını şiddeti cinsinden elde edilen tek boyutlu gürültü güç dağılımı (dedektör sinyaline normalize edilmiş NPS), q birim alan ve birim ışınlama başına dedektör girişindeki foton sayısı ve X , gürültü güç dağılımının ölçüldüğü ışınlama dozudur. Teorik olarak q , çok enerjili bir x-ışını dağılımı için

$$q = \frac{(\int q(E)E dE)^2}{\int q(E)E^2 dE} \quad \text{Denklem 2-9}$$

denklemini ile elde edilir. Tek enerjili bir x-ışını dağılımı için bilinen bir ışınlama değerinde, q

$$\frac{1}{X} = \frac{5.43 \times 10^5}{(\mu(E)/\rho)_{en} E} \quad \text{Denklem 2-10}$$

Burada ϕ , foton akısı, $(\mu(E)/\rho)_{en}$ enerjiye bağlı kütle azalım katsayısı ve X ışınlama değeridir (Dobbins *et al.* 2006).

3. YÖNTEM

Bu bölüm, MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilen algoritmalar ve bu algoritmaların tasarlanan arayüze aktarıldığı çalışmaları kapsamaktadır (EK 2). Bu bağlamda yapılan çalışmaların ilki tez kapsamında kullanılan görüntü işleme yöntemleri diğeri ise görüntü kalitesinin sayısal değerlendirilmesidir.

3.1. Kullanılan Görüntü İşleme Yöntemleri

Genel olarak, her türlü iki boyutlu bilgi görüntü olarak bilinmektedir. Bir gri düzeyli görüntü iki boyutlu bir $I(x,y)$ fonksiyonu gibi düşünülebilir. x ve y : uzaysal (düzlem) koordinatlarıdır. Herhangi bir (x,y) koordinatındaki I 'nin genliği, görüntünün o noktadaki parlaklığı veya gri düzeyi olarak adlandırılır. x , y , ve I 'nin genlik değerleri ayrık ve sonlu değerlere sahipse, bu görüntüye sayısal görüntü denir. Aksi belirtilmediği durumda $I(x,y)$ negatif değerler alamaz.

Sayısal görüntü işleme ise, sayısal görüntülerin bilgisayarla işlenmesidir. Sayısal görüntü, her birinin özel bir konumu ve değeri olan sonlu sayıdaki elemanlardan oluşmuştur. Bu elemanlar, piksel olarak adlandırılır.

Sayısal görüntü işleme ile görüntülerin analog ortamlardan sayısala geçişteki olabilecek hataların düzeltilmesi, görüntüler üzerinde sayısal hesaplamalar, görüntüleri keskinleştirmek veya bulanıklaştırmak, parlaklık veya koyuluk ayarlaması gibi çeşitli işlemler yapılabilmektedir. Aşağıda tez kapsamında hazırlanarak kullanılmış olan yöntemler anlatılacaktır.

3.1.1. Görüntü Üzerinden Sayısal Hesaplamalar

Histogram

Görüntü histogramı görüntüde piksellerin gri değerlerine ilişkin bağıl sıklık ölçütünü oluşturur. Görüntünün histogramı piksel değerlerinden oluşan görüntü matrisinin elemanlarının dağılımını veren grafikdir. Böylelikle görüntünün kontrastına ilişkin bilgi elde etmek mümkün olmaktadır (Gonzalez and Woods 2001).

Histogram grafiklerinde yatay eksen belirli bir gri seviyeyi, dikey eksen ise tekrar sayısını yani frekansı vermektedir. Genel ifadesi şu şekilde verilebilir:

$$h(rk) = nk \quad \text{Denklem 3-1}$$

rk : k. parlaklık değerini

nk : k. parlaklık değerinin görüntüdeki sayısı

Görüntü Maskeleye

Görüntü maskeleyesinde sonuçta elde edilen görüntünün bir (x,y) noktasındaki değeri, orijinal görüntüde (x,y) 'nin bir komşuluğundaki değerlere bağlıdır. Maskeleye, görüntünün istenilen bölgesinin kesip çıkartılması ve elde edilmesidir. Görüntüden istenilen bölgenin çıkartılıp bu bölgeyle ilgili sayısal işlemler yapılabilir.

Ortalama

Bir görüntünün ya da bir görüntünün belirli bir kısmının ortalama değeri hesabı, görüntüdeki gri değerlerin dağılımına ilişkin basit ölçütlerdendir. Bir görüntü matrisi olarak düşünüldüğünde görüntü matrisi fonksiyona gönderilerek geri dönüş değeri olarak ortalama değeri tutan bir değişken elde edilir. Bu değişken sayesinde görüntüdeki istenilen ortalama piksel değerleri oluşturulmuş olur (Semmlow 2004).

$$x' = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i = \frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{N} \quad \text{Denklem 3-2}$$

Standart Sapma

Standart sapma görüntüde kullanılacak verilerin ortalamadan sapmaların kareler ortalamasının karekökü olarak tanımlanır. Bir görüntü matrisi olarak düşünüldüğünde görüntü matrisi fonksiyona gönderilerek geri dönüş değeri olarak standart sapma değerini tutan bir değişken elde edilir (Semmlow 2004).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x')^2} \quad \text{Denklem 3-3}$$

3.1.2. Filtreleme

Birçok görüntü iyileştirme tekniği, uzaysal düzlemde giriş noktalarının komşuluğuna bağlı olarak kullanılır. Sıklıkla görüntü, “uzaysal maske” adı verilen bir sonlu darbe cevabı ile konvolüe edilir. Uzaysal maske yerine “konvolüsyon çekirdeği (convolution kernel)”, “konvolüsyon maskesi (convolution mask)”, “konvolüsyon penceresi (convolution window)” gibi isimler de kullanılmaktadır.

Bu işleme filtreleme de denir. Görüntünün üzerinde sanki bir filtre varmış gibi düşünülüp her piksel yeniden hesaplanır. İlgili pikselin yeni değeri, komşu piksellerin değerleri de dikkate alınarak bulunur. Kullanılacak piksellerin ağırlıkları, yapılacak

işleme bağlı olarak değişmektedir. Kenar bulma, gürültü giderme, görüntü keskinleştirme, yumuşatma gibi işlemlerde kullanılmaktadır.

Filtreleme işlemleri zaman uzayında yapılması konvolüsyon işlemi ile gerçekleşmektedir. Konvolüsyon işlemi tek boyutlu olarak düşünüldüğünde, fonksiyonlarından biri diğeri üzerinde ilerlerken iki fonksiyon çarpılarak çarpımlar toplanır. Bu işlem sayesinde görüntüdeki her pikselin değeri filtre ağırlık faktörü ile çarpılarak değişir. Bu sayede görüntünün yeni piksel içerikleri belirlenir.

Görüntünün frekans uzayında işlenmesi için filtrenin ilk olarak frekans uzayında tanımlanması gerekmektedir. Bunun için görüntülere Fourier dönüşümü uygulanıp filtre ile çarpılır. İşlenmiş görüntü uzaysal ortamda bu çarpımın ters Fourier dönüşümü ile elde edilir. Gürültünün azaltılması ya da görüntü iyileştirilmesi farklı frekans uzayında uygulanan filtreler kullanılabilir (Jain 1986).

Laplacian Filtre

Laplacian filtreler görüntüdeki keskin geçişleri bulmak için kullanılan türev bazlı filtrelerdir. Türev bazlı filtreler gürültüye çok duyarlı oldukları için, görüntüye Laplacian uygulamadan önce Gaussian filtresi gibi bir yumuşatıcı filtreden geçirilmesi gürültüleri azaltmak daha iyi sonuç verebilir (Gonzalez and Woods 2001).

Laplacian operatörü bir görüntüye uygulandığında çıkışta kenar çizgileri ve diğer süreksizlik arz eden noktaların gri, bir özelliğe sahip olmayan geri kalan kısımların ise siyah arka plan olarak kaldığı bir görüntü elde edilir. Burada $f(x,y)$ fonksiyonuna Laplacian uygulanmış şekil aşağıdaki gibidir (Gonzalez and Woods 2001).

$$L(x, y) = \nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad \text{Denklem 3-4}$$

Unsharp Filtre

Görüntüdeki ayrıntıları, keskin geçişleri belirginleştirmek, bulanıklaştırılmış görüntülerdeki ayrıntıları yeniden ortaya çıkarmak için kullanılır. Keskinleştirme, sayısal farkların alınması ile gerçekleştirilir (diferansiyel, türev). Fark alma, görüntüdeki kenarları, süreksizlikleri (gürültü gibi) belirginleştirir (keskinleştirir) ve küçük gri düzeyi değişimleri olan görüntüdeki bölgelerini matlaştırmaktadır.

Görüntüden bulanıklaştırılmış hali çıkarılınca keskinleştirme sağlanır. Aynı şekilde, dereceli veya yüksek geçiren bir işaret eklenerek elde edilebilir (Gonzalez and Woods 2001).

Matematiksel ifadesi şöyledir:

$$v(m, n) = u(m, n) + \lambda g(m, n) \quad \text{Denklem 3-5}$$

$u(m,n)$ orijinal görüntü, $g(m,n)$ ise (m,n) üzerinde düzgün derecelendirilmiş yüksek frekansların baskın olduğu görüntü, Ayrıca; skala faktörü $\lambda > 0$ olmalıdır. Bu görüntü ($g(m,n)$), orijinal görüntüye eklenerek kenarların belirginleştiği görüntü $v(m,n)$ elde edilir.

Prewitt Filtre

Değişik filtreler kenar bulmak amacı ile tek renkli görüntülerde kullanılmıştır. Prewitt ve Sobel en iyi bilinen filtrelerdir ve yatay, dikey yönlü maskelerden oluşurlar. Bu filtrelerin en büyük sınırlaması yüksek gürültülü ortamlarda kenarları doğru olarak bulamamasıdır (Scharcanski 1997).

Prewitt ve Sobel filtreleri katsayılarındaki farklılık haricinde birbirine benzeyen kenar bulma yöntemleridir. Genel ifadesi şu şekildedir:

$$g(x, y) = |f(x, y) - fs(x, y)| \quad \text{Denklem 3-6}$$

$f(x,y)$ görüntüsüne, yumuşatıcı filtre $fs(x,y)$ uygulanıp gerçek görüntüden çıkarılarak yüksek frekansların baskın olduğu bir $g(x,y)$ görüntü elde edilir. Bu görüntü orijinal görüntüye eklenerek kenarların vurgulandığı bir görüntü elde edilmektedir. (Gonzalez and Woods 2001)

Medyan Filtre

Bu filtreleme yönteminde, orijinal sıralanmış piksel komşularının arasındaki ortanca değerleriyle değiştirilir. Bunun ağırlıklı ortalama filtrelerinden farkı şudur: Ağırlıklı ortalama filtrelerinde, komşuların ağırlıklı ortalaması alınır, hesaplanan bu değer orijinal piksel ile yeniden ortalanarak sonuç bulunur. Medyan filtresinde, komşuluk değerleri önce sıraya konular, sonra ortadaki değer alınır. Bu değer doğrudan sonuç kabul edilir.

Ortanca değeri elde edebilmek için genellikle tek sayıda komşu seçilir. Eğer hesaplamada çift sayıda komşu kullanılırsa, bu durumda ortada kalan iki pikselin aritmetik ortalaması kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmektedir (Jain 1986).

Matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$v(m,n) = \text{medyan}\{y(m-k, n-l), (k,l) \in W\}$$

Denklem 3-7

Medyan filtrenin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Doğrusal değildir.

$$\text{medyan}\{x(m) + y(m)\} \neq \text{medyan}\{x(m)\} + \text{medyan}\{y(m)\} \quad \text{Denklem 3-8}$$

- Uzaysal çözünürlüğü bozmadan, bağımsız nokta veya çizgi gürültülerini temizlemek için kullanışlıdır. Bu nedenle ikili (*binary*) gürültülerde başarılı olmasına rağmen Gaussian gürültüsünde kullanışlı değildir.
- Gürültü piksellerinin sayısı komşu piksellerin yarısına eşit veya daha fazla ise bu filtre pek başarılı çalışmaz (Gonzalez and Woods 2001).

Uzaysal Ortalama ve Uzaysal Alçak Geçiren Filtre

Bu filtreler ortalamaya veya ağırlıklı ortalamaya dayandığı için “Ortalama Filtreleri” olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca bu filtrelerin alçak geçiren filtre olarak adlandırılmasının sebebi ise görüntünün gri tonlarındaki keskin geçişleri azaltma özelliklerindedir.

Görüntüdeki her piksel yerine komşuları ile beraber ortalaması alınarak hesaplanan değer ile yer değiştirdiğinden, görüntüdeki gri düzeyleri arasındaki keskin geçişler azalmaktadır. Filtrelerin bu özelliklerinden dolayı görüntü üzerindeki kenarlarda bulanıklaşma (*blur*) oluşabilmektedir (Jain 1986).

Filtrenin genel ifadesi şu şekildedir:

$$v(m, n) = \sum \sum_{k, l \in w} a(k, l) y(m - k, n, l) \quad \text{Denklem 3-9}$$

Burada, her bir nokta ona komşu olan tüm noktaların ortalaması şeklinde hesaplanır. $y(m,n)$ fonksiyonun girişi, $v(m,n)$ çıkışıdır. W , seçilen maske penceresidir. $a(k,l)$ de filtrenin ağırlığıdır (hücre değerleri). Uzaysal ortalama filtrelerinde sıkça kullanılan bir maske de tüm ağırlıkların eşit olduğu maskedir. Şöyle gösterilebilir:

$$v(m, n) = \frac{1}{N_w} \sum \sum_{k,l \in W} y(m - k, n, l) \quad \text{Denklem 3-10}$$

Burada, $a(k,l)=1/N_w$ ve N_w ' da W penceresindeki piksel sayısıdır. Yine sıklıkla kullanılan bir başka filtre de “*en yakın dört pikselin*” ağırlıklı ortalamasıdır. Bu filtre de aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$v(m, n) = \frac{1}{2} \left[y(m,n) + \frac{y(m-1,n)+y(m+1,n)+y(m,n-1)+y(m,n+1)}{4} \right] \quad \text{Denklem 3-11}$$

Bu filtrenin Gaussian dağılımını kullanarak biraz daha değiştirilmiş hali Alçak Geçiren Filtre (Gaussian filtresi) olarak bilinir (Russ 1999). Bu filtrenin ifadesi de aşağıda verilmiştir:

$$v(m, n, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{w\sigma^2}} \quad \text{Denklem 3-12}$$

3.2. Görüntü Kalitesinin Sayısal Hesaplanması

Bu bölümde, kuramsal temellerde bahsedilen görüntü kalitesi için sayısal değerlendirme yöntemleri için MATLAB programı kullanılarak oluşturulan algoritmalar anlatılmıştır. Böylelikle modülasyon transfer fonksiyonu, gürültü güç dağılımı ve dedeksiyon kuantum etkinliği değerlendirmeleri, uluslararası standartlar referans alınarak MATLAB programında geliştirilen yazılıma aktarılmıştır. Tezin bu bölümü genel olarak üç kısımda incelenmiştir. Bunlar modülasyon transfer fonksiyonu, gürültü güç dağılımı ve dedeksiyon kuantum etkinliğidir.

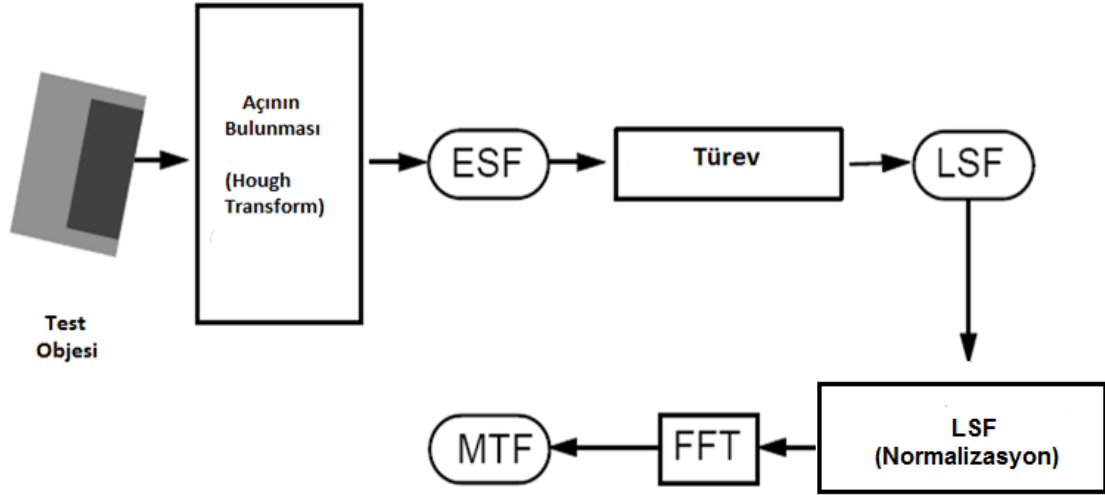
Görüntü kalitesinin sayısal olarak belirlenmesinden önce, sistemlerden elde edilen dedektör sinyalinin, dedektör girişine gelen ışınlama değeri ile nasıl değiştiğini belirlemek gerekir. Böylelikle her bir sistemin için doz-piksel değeri karakteristik eğrilerinden yararlanılarak görüntülerdeki piksel değerlerinden doza geçilir. Bu düzeltme işleminden sonra modülasyon transfer fonksiyonu, gürültü güç dağılımı hesaplanmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları kullanılarak dedeksiyon kuantum etkinliği hesaplanmıştır.

3.2.1. Modülasyon Transfer Fonksiyonunun Hesaplanması

Görüntü kalitesinin sayısal olarak değerlendirmesinden önce görüntüleme sistemlerinden elde edilen dedektör sinyallerinin, dedektör girişine gelen ışınlama ile değişiminin saptanması gereklidir. Bu doz-piksel karakteristik eğrisi değerlerinden yararlanılarak kullanılan görüntülerinin ışınlama değeri ile doğrusal hale getirme işlemi yapılır (*STP* düzeltmesi). Daha sonra modülasyon transfer fonksiyonu ölçülmesinde kullanılan kenar görüntüleme metodu kullanılmıştır.

Uluslararası standartlara uygun şekilde boyutlandırılan kenar görüntüsünün ilk olarak görüntüden seçilen ilgili alan oluşturularak açı değeri Hough dönüşümü ile bulunmuş, kenar görüntüdeki, kenara dik düzlemdeki her satır için konumlarının piksel değerleri, piksellerin kenardaki dik uzaklıklarına (mm) karşı daha sık örneklenme işlemi yapılarak çizdirilmiştir (Carton *et al.* 2005).

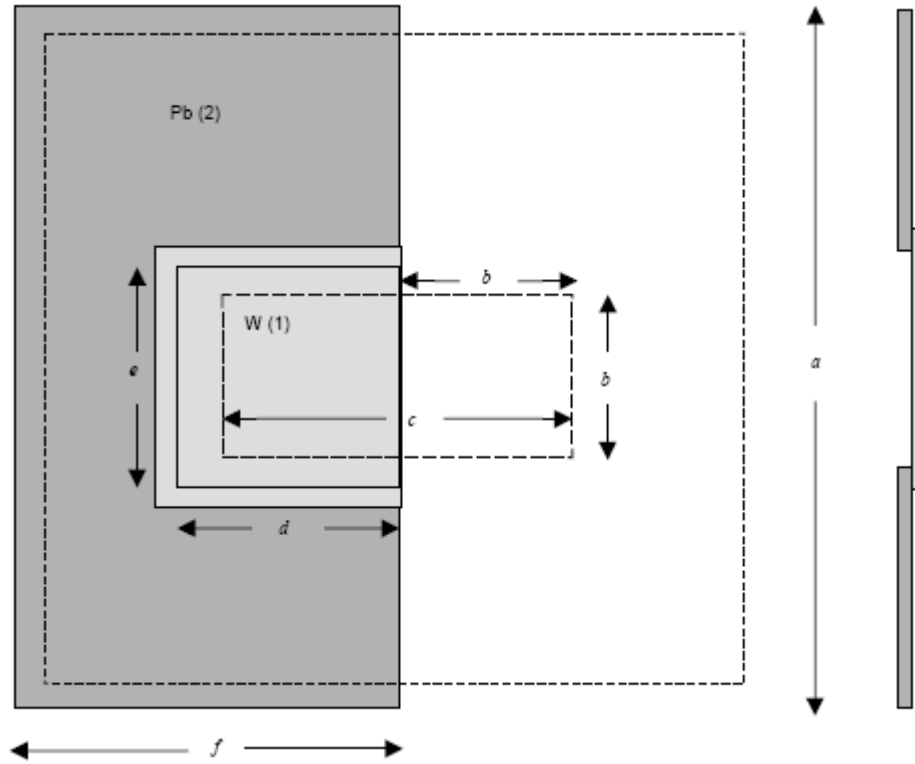
Kenar dağılım fonksiyonlarının türevi alınarak çizgisel dağılım fonksiyonu oluşturulmuş daha sonra da çizgisel dağılım fonksiyonu Fourier dönüşümü alınarak modülasyon transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Bu işlemler Şekil 3.1’de akış şeması olarak verilmiştir.



Şekil 3.1 Modülasyon transfer fonksiyonu akış diyagramı

3.2.1.1. Kenar Görüntünün Alınması

Tez kapsamında kullanılan veri setlerinin uluslararası standartlara uygun olmasına dikkat edilmiştir. Kenar görüntüleme metodu için kullanılan görüntüler (IEC 62220-1) standartta tavsiye edilen yöntem uygun olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca elde edilen kenar görüntülerin değerlendirme aşamasındaki ilgi alan seçimi yine bu standarda göre yapılmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3.2). Aşağıdaki örnekte seçilen ilgi alanı için ($b = 50\text{mm}$, $c = 100\text{mm}$) ve kullanılan tungsten ve kurşun plakalar için ($a=200\text{ mm}$, $d=70\text{ mm}$, $e = 90\text{ mm}$, $f =100\text{ mm}$) tavsiyeler yer almaktadır (Şekil 3.2) (IEC 2003).



Şekil 3.2 IEC 62220-1 standardına göre kenar görüntüsü örneği (IEC 2003)

3.2.1.2. Görüntüden Kenar Açısının Hesaplanması

Öncelikle kenar görüntüsünden bir ilgi alan seçilmiştir. İstenilen ilgi alanı seçildikten sonra Hough dönüşümü ile kenar açısı tespiti yapılmıştır.

Hough dönüşümü kullanılarak yapılan kenar tespiti genel olarak aşağıdaki gibidir:

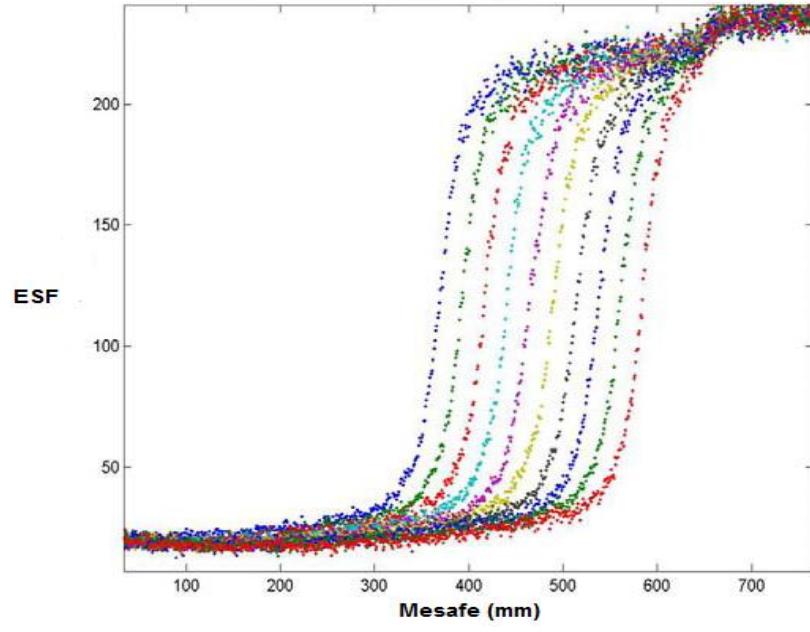
- Tespit edilmesi istenen görüntü üzerinde kenarlar belirlenir.
- Bir eşikleme yöntemi ile görüntü ikili (siyah-beyaz olarak) hale getirilir.
- Her kenar pikseli için noktanın üzerinde olabileceği geometrik şekillerin polar koordinattaki değerleri kullanılan bir akümülatör matrisi oluşmuş olur.

- Akümülatör matrisi üzerinde birer artırılarak her kenar pikselin olası şekilleri belirlenmesi sağlanmış olur.
- Akümülatör değeri en yüksek olan şekiller en çok belirgin olanlardır. Görüntü üzerinde bulunma veya belirgin olma olasılıkları en yüksek olanlarıdır.
- Oluşan şekiller isteğe bağlı olarak görüntü üzerine çizdirilebilmektedir.

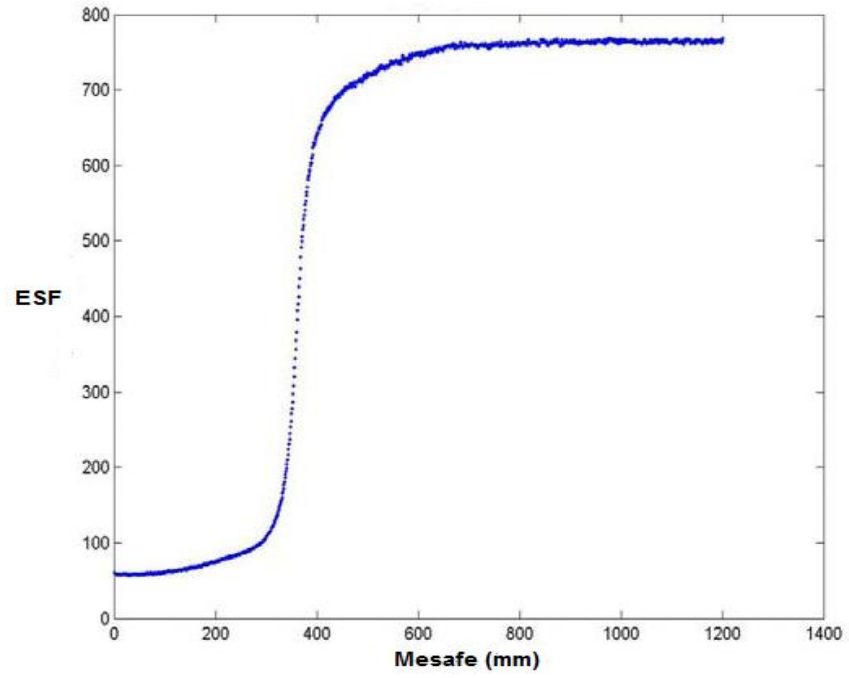
Bu uygulamada kenar belirleme işleminde Canny filtresi kullanılmıştır. Canny filtresi görüntüye uygulanmış ve kenarlar tespit edilmiştir. Hough dönüşümünde, eşikleme yöntemi kullanılarak görüntü siyah beyaz hale getirilmiştir. Görüntüdeki kenar bilgisinin eğimi sayesinde görüntünün eğim açısı bulunmuştur. Tez kapsamında farklı hassasiyette açı hesaplamaları denenmiş denenen değerler arasındaki fark %1'i geçmediğinden dolayı OBJ programıyla uyumlu (uygun hassasiyetli) açı değerleri hesaplamalarda kullanılmıştır (Çizelge 4.4) (Scharcanski 1997).

3.2.1.3. Kenar Dağılım Fonksiyonun (Edge Spread Function, *ESF*) Bulunması

Bir kenar görüntüsünün herhangi bir satırdan profil alınarak o satırın kenar dağılım fonksiyon bilgisi elde edilebilir (Şekil 3.3). Ancak tüm görüntüden ya da seçilen ilgi alanından kenar bilgisinin daha detaylı elde edilebilmesi için birden fazla satır bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Farklı satır bilgilerinden elde edilen kenar dağılım fonksiyonları



Şekil 3.4 Tüm görüntüden elde edilen kenar dağılım fonksiyonu

Birden fazla satır kullanılması durumunda kesitlerin birleştirilebilmeleri (Şekil 3.4) için piksellerin kenara olan uzaklıkları kullanılır. Kenardan olan uzaklık, $(s(i,j)=p(j\cos\alpha - isin\alpha))$, piksellerin seçilen ilgili alanında kenardan i th satıra olan mesafeleri bulunarak gerçekleştirilir (Denklem 3-14). Ayrıca görüntüdeki piksel boyutu hesaplamada kullanılmaktadır (Şekil 3.5). (Samei *et al.* 1998).

$$E_{ji} = \int ESF(s)\delta(s + ip\sin\theta - jp\cos\theta) ds \quad \text{Denklem 3-13}$$

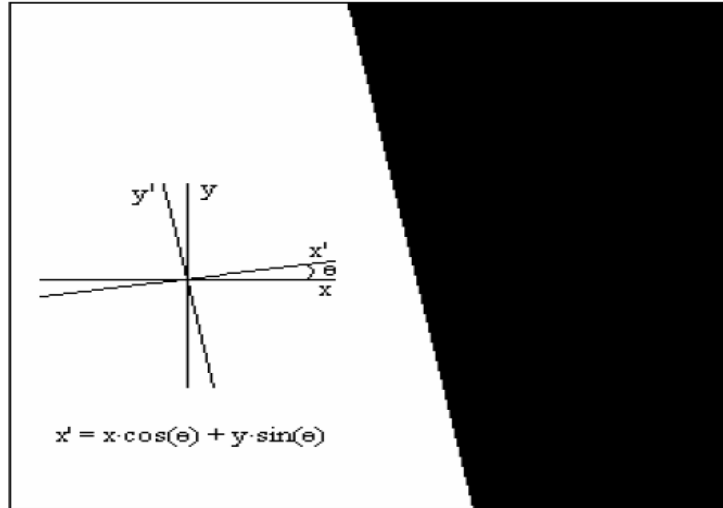
burada, p piksel boyutu, i satır sayısı, j kolon sayısıdır.

Bu uzaklıklar bir önceki aşamada bulunan açı değeri kullanılarak bir koordinat dönüşümü olarak ifade edilebilir. Bu yöntem kullanılarak belirlenen kenar açısıyla piksellerin yeni koordinatları hesaplanmıştır (Şekil 3.5).

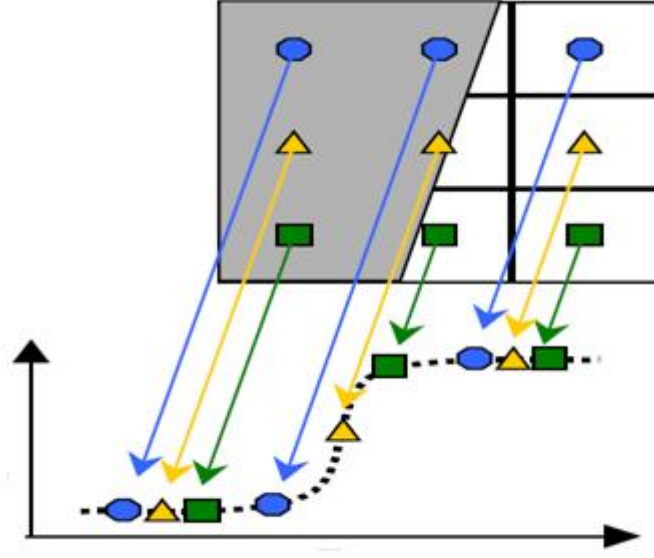
Yeni oluşan koordinatlar aşağıdaki ilişkiye bağlıdır.

$$x_{krd} = x \cos \theta + y \sin \theta \quad \text{Denklem 3-14}$$

$$y_{krd} = y \cos \theta - x \sin \theta$$



Şekil 3.5 Koordinatları değişen kenar görüntüsü



Şekil 3.6 Yüksek çözünürlüklü kenar dağılım fonksiyonu

Aşağıdaki denklemden kenar dağılım fonksiyon hesabında, kenar bilgisini daha detaylı elde etmek için farklı ince gruplama (*rebinning*) boyutunda, piksellerin mesafe bilgisinin aralıkları daha da daraltılarak ince gruplama (*rebinning*) işlemi yapılır (Denklem 3-15).

$$ESF_k = \frac{1}{n_k} \sum_{ij} E_{ij} \text{bin}(s(i,j) - k\Delta s)$$

Denklem 3-15

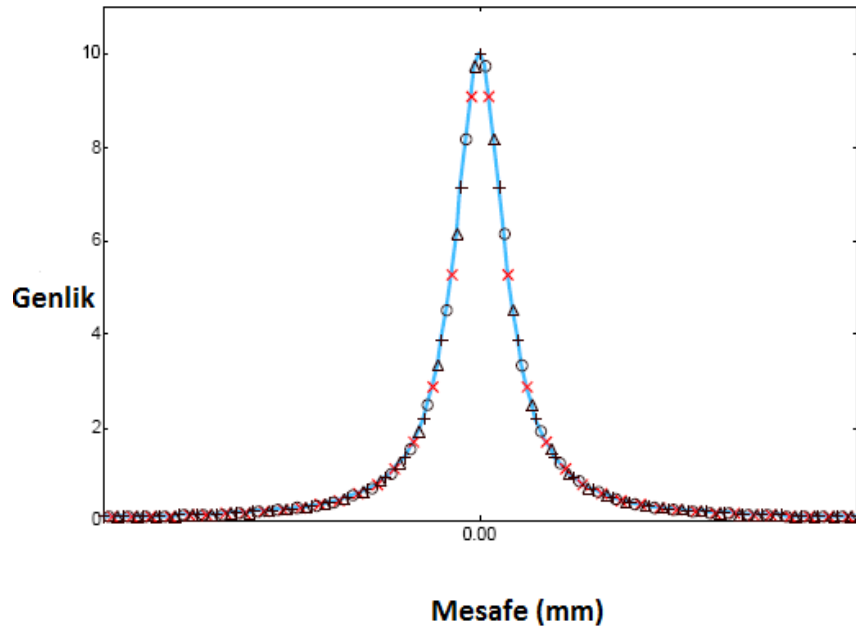
Yukarıda yapılan işlemler sayesinde, kenar açısından dolayı yeni konumlardaki oluşan piksel değerlerinin, piksellerin kenardan olan uzaklıklarına karşı çizdirilmesiyle (Şekil 3.6) piksel boyutundan daha küçük aralıklarla daha sık örneklenmiş yani daha yüksek çözünürlüklü kenar dağılım fonksiyonu oluşturulmuştur (Samei *et al.* 1998).

3.2.1.4. Çizgisel Dağılım Fonksiyonun (Line Spread Function, *LSF*) Bulunması

Bu kısımda, daha sık örneklenerek oluşan kenar dağılım fonksiyonunun türevi alınarak çizgisel dağılım fonksiyonu oluşturulmuştur (Denklem 3-16). Oluşturulan çizgisel dağılım fonksiyonu sıfır frekans değerine normalize edilir (Şekil 3.7). Yazılımda uygulanan yöntem aşağıdaki gibidir (Samei 2003).

$$LSF = \left\{ \frac{d}{dx} [esf(x)] \right\}$$

Denklem 3-16



Şekil 3.7 Çizgisel dağılım fonksiyonu

3.2.1.5. Fourier Dönüşümü (FT) Kullanılarak Modülasyon Transfer Fonksiyonunun Bulunması

Çizgisel dağılım fonksiyonunun, Fourier dönüşümü (Denklem 3-17) alınarak elde edilen modülasyon transfer fonksiyon değerleri sıfır frekanstaki değerlere bölünerek normalize edilir. Böylelikle frekans uzayında ayırma gücünü belirleyen bir parametre olan modülasyon transfer fonksiyonu elde edilir (Samei 2003).

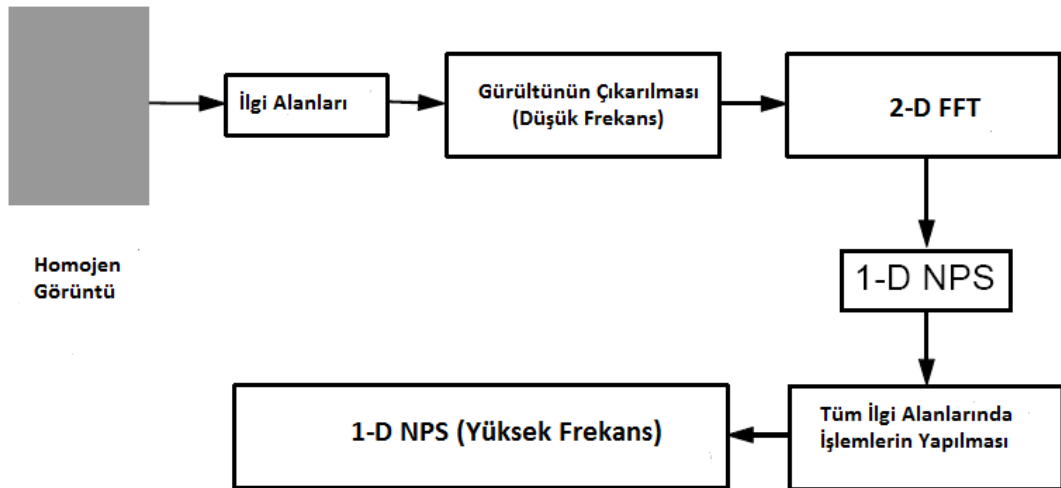
$$MTF(f_x, 0) = FT\{LSF(x)\} \quad \text{Denklem 3-17}$$

3.2.2. Gürültü Güç Dağılımının Hesaplanması

İlk olarak görüntüleme sistemlerin dedektör yanıtına uygun *STP* düzeltmesi yapılmalıdır. Bu işlem yapıldıktan sonra yazılımda oluşturulan algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.8’de verilmiştir.

$$NPS(f_x, f_y) = \quad \text{Denklem 3-18}$$

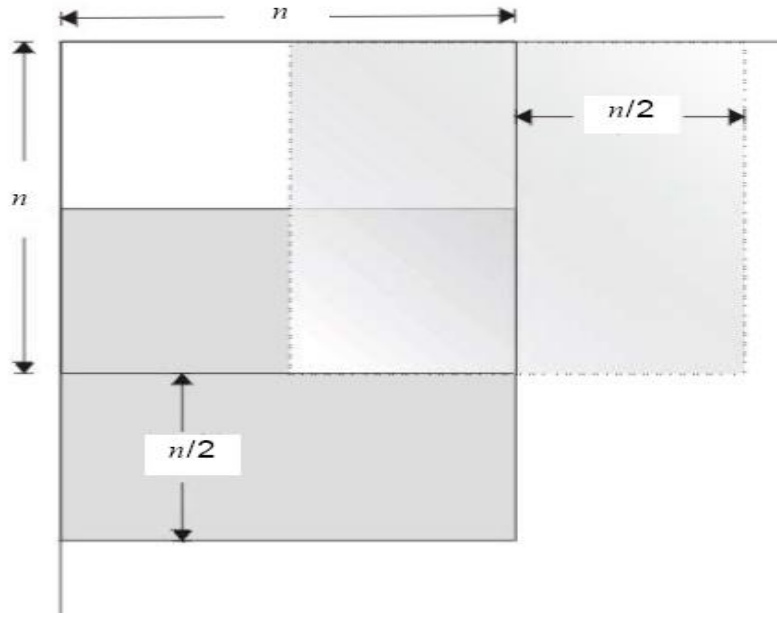
$$\lim_{N_x, N_y, M \rightarrow \infty} \frac{\Delta x \Delta y}{M * 128 * 128} \sum_{s=1}^M \left| \sum_{i=1}^{128} \sum_{j=1}^{128} [I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)] e^{-2\pi(f_x x_i + f_y y_j)} \right|^2$$



Şekil 3.8 Gürültü güç dağılımı akış diyagramı

Görüntüleme sistemlerinde homojen ışınlama sonucu elde edilen görüntü gürültü güç dağılımı elde edilmesi için kullanılır. Bu çalışmada kullanılacak homojen görüntü uluslararası standartlara göre elde edilmiş homojen görüntüler olması tercih edilmiştir (Carton *et al* 2005). Homojen görüntüdeki yüksek frekanstaki dalgalanmalar gürültü olarak düşünülebilir.

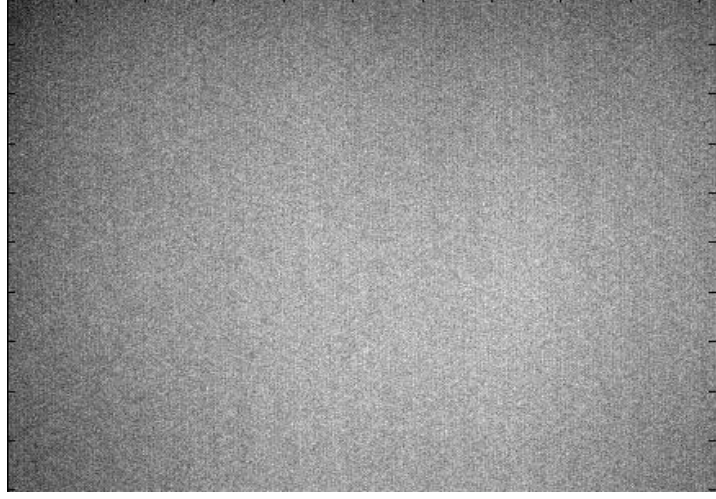
Uluslararası standartlara göre alınmış homojen görüntü (1024x1024'lük alan) üzerinde belirlenen (128x128) bir ilgi alanı oluşturularak tüm ilgi alanı taranmaktadır. Bu taranan ilgi alanları (Şekil 3.9), sistemlerden farklı zamanlarda alınan görüntüler olarak düşünülerek, bu görüntülerin ortalamaları alınarak ölçümlerin hassasiyetleri artırılır (Dobbins III *et al.* 2006).



Şekil 3.9 IEC 62220-1 standardına göre seçilen ilgi alan örneği (IEC 2007)

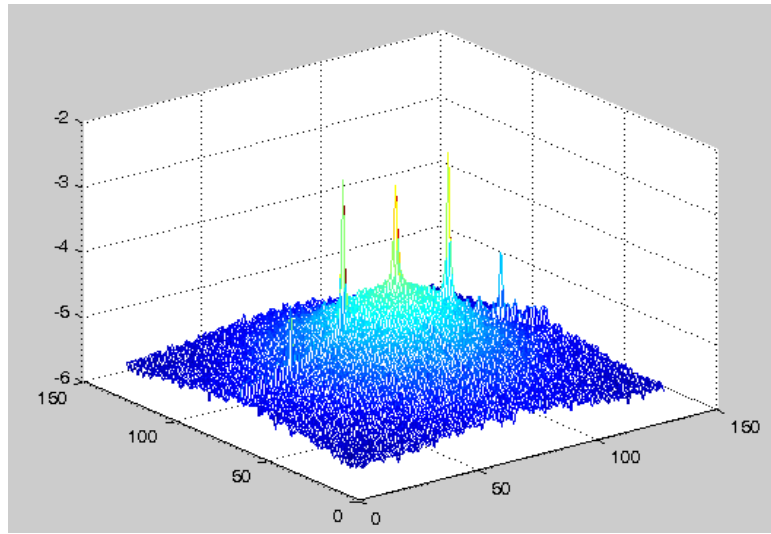
Düşük frekanslı gürültünün kaldırılmadan önce görüntüye Fourier dönüşümü uygulanmaktadır. Düşük frekanslı bilgisine (Heel etkisi) sahip görüntü, görüntünün merkezinden kenarları doğru gidildikçe farklı tonlarda olduğu görülmektedir (Şekil 3.10). Homojen görüntüdeki düşük frekans bilgisinin çıkarılması ile yüksek frekans

bilgisine sahip görüntü elde edilmiş olur. Bu işlem tüm taranan ilgi alanlarına uygulanarak tekrarlanır (Dobbins III *et al.* 2006).



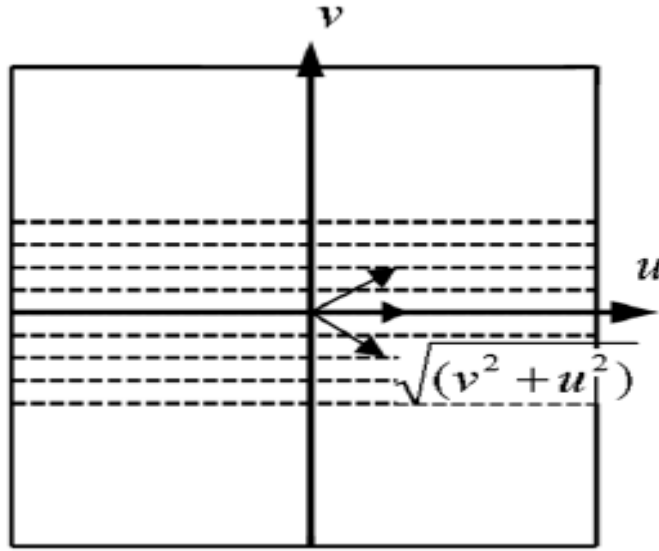
Şekil 3.10 Düşük frekans bilgisine sahip görüntü

Homojen görüntüdeki yüksek frekanstaki dalgalanmaların analizi yapmak için görüntüden düşük frekanslı bilgisinin çıkarılıp, yüksek frekans bilgisine sahip iki boyutlu görüntü elde edilmesi gerekmektedir. Bu iki boyutlu görüntüye Fourier dönüşümü uygulanarak da iki boyutlu gürültü güç dağılımı (Şekil 3.11) elde edilmiş olur (Denklemler 3-18).



Şekil 3.11 Fourier dönüşümü yapılarak elde edilen iki boyutlu gürültü güç dağılımı

İki boyutlu gürültü güç dağılımının tek boyutlu gürültü güç dağılımı indirgenmesi gereklidir. İki boyutlu güç dağılımını tek boyutluya indirgenmesi için birçok yönde (u, v, ve 45° yönlerde) ve farklı satır sayılarında (4, 6, 7 satır gibi) dilimler alınıp alınan bu dilimler toplanıp ortalaması almaktadır (Carton *et al* 2005). Bu çalışma da bir yöndeki eksenin 7 satır altında ve üstünde dilimler alınarak toplanıp ortalaması alınmıştır. Bütün bu yapılanlar tüm ilgi alanları için tekrarlanarak tek boyutlu gürültü güç dağılımı elde edilmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Tek boyutlu gürültü güç dağılımı gösterimi

3.2.3. Dedeksiyon Kuantum Etkinliği Hesaplanması

Modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü güç dağılımı, her iki sayısal değerlendirme yöntemi, uygun frekans değerlerinde ara değerlendirme teknikleri yardımıyla birleştirilip, q ve X değerleri kullanıcı tarafından girilerek dedeksiyon kuantum etkinliği elde edilir. (Denklem 3-19) Yazılımda uygulanan yöntem aşağıdaki gibidir (Marshall 2007).

$$DQE(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)qX}$$

Denklem 3-19

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde çeşitli sistemlerden, farklı görüntüleme parametreleri ile alınan görüntüler için elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

MATLAB programı kullanılarak geliştirilen Nükleer Bilimler Enstitüsü Görüntü İşleme ve Kalite Kontrol Yazılımı'na (NBEGKY) göre elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve bu sonuçlar OBJ programı ile kıyaslanmıştır.

4.1. Kullanılan Sistemler ve Veriler

Tez kapsamında kullanılan görüntüler, üç farklı sistemden alınan görüntüleri kapsamaktadır. Bunlar, GE ESSENTIAL mamografi sistemi (data_MAM), EMD floroskopi sistemi (data_FP) ve GE SILHOUETTE VR (data_DRX) dijital radyografi sistemleridir (Çizelge 4.1). Sistemlerin özellikleri ve sistemlerden alınan görüntülerin özellikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.2 – 4.3).

Çizelge 4.1 Kullanılan Sistemler

Sistemler	GE ESSENTIAL	EMD	GE SILHOUETTE VR
X-ışın jeneratörü	Yüksek frekans 22-49 kV 30-100 mA	CPI indico 100, 3-fazlı yüksek frekans maks. 125 kV maks. 8.5 mA	3-fazlı yüksek frekans maks. 150 kV maks. 320 mA
X-ışın tüpü	Ge DMR M - 152	Varian RAD-12 Doğal filtrasyon > 2.5 mm Al	Varian Doğal filtrasyon > 0.5 mm Al
Dedektör	CsI 24 x 30.7 cm Piks. boyutu: 0.094 mm	CsI 19.5 x 24.4 cm Piks. boyutu: 0.125 mm	CsI 35 x 43 cm Piks. boyutu: 0.139 mm

Çizelge 4.2 Farklı sistemlerden alınan kenar görüntüleri ve homojen görüntüler

Kullanılan Görüntüler	GE ESSENTIAL	EMD	GE SILHOUETTE VR
Kenar Görüntü	data_MAM1 data_MAM2 data_MAM3	data_FP1 data_FP2	data_DRX1 data_DRX2 data_DRX3
Homojen Görüntü	data_MAM11	data_FP11 data_FP12	data_DRX11 data_DRX12 data_DRX21 data_DRX22

Çizelge 4.3 Verilerin görüntüleme parametreleri

Özellikleri	kVp	mAs
data_MAM1	29	40
data_MAM2	29	40
data_MAM3	29	40
data_MAM11	29	8
data_FP1	70	8.5
data_FP2	90	25
data_FP11	70	8.5
data_FP12	90	25
data_DRX1	70	8
data_DRX2	90	1.6
data_DRX3	90	16
data_DRX11	70	8
data_DRX12	70	25
data_DRX21	90	1.6
data_DRX22	90	5

4.2. Sinyal Transfer Fonksiyonu Kullanılarak Piksel Değerlerinin Düzeltilmesi

Tez kapsamında görüntü kalitesi değerlendirmesinde kullanılan sayısal yöntemler doğrusal davranışlı sistemlere uygulanabildiğinden dolayı kullanılan sistem görüntüleri üzerinde hesaplama yapılmadan önce *STP* düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan sistemlerin dedektör yanıtları mamografi sistemi için doğrusal, floroskopi sistemi için doğrusal ve dijital radyografi sistemi için logaritmik davranış göstermektedir.

Kullanılan görüntülerin doğrusal ($PV = A + BQ$) veya logaritmik ($PV = A + B\ln(Q)$) davranışlarına göre düzeltmeler yapıp sayısal hesaplamalardan önce *STP* düzeltmeleri gerçekleştirilmiştir. A ve B değerleri her sistem için ve farklı ışınlama parametreleri için değişmektedir.

4.3. Açık Hesaplamalarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada data_MAM1, data_MAM2, data_MAM3 olarak adlandırılan farklı kenar görüntüleri kullanılmıştır. NBEGKY yazılımı ile OBJ yazılımının bulunduğu açı değerleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Farklı ilgi alan seçimlerinde açı karşılaştırmaları

ROI (mm)	data_MAM1 (açı°)			data_MAM2 (açı°)			data_MAM3 (açı°)		
	NBEG KY	OBJ	% Fark	NBEG KY	OBJ	% Fark	NBEG KY	OBJ	% Fark
40x40	6.09	6.16	1.0	5.40	5.37	0.5	6.52	6.58	0.9
30x30	6.19	6.15	0.6	5.31	5.36	0.9	6.53	6.59	0.9
100x50	6.20	-	-	5.29	-	-	6.59	-	-
80x40	6.20	-	-	5.40	-	-	6.59	-	-
60x30	6.20	-	-	5.40	-	-	6.50	-	-

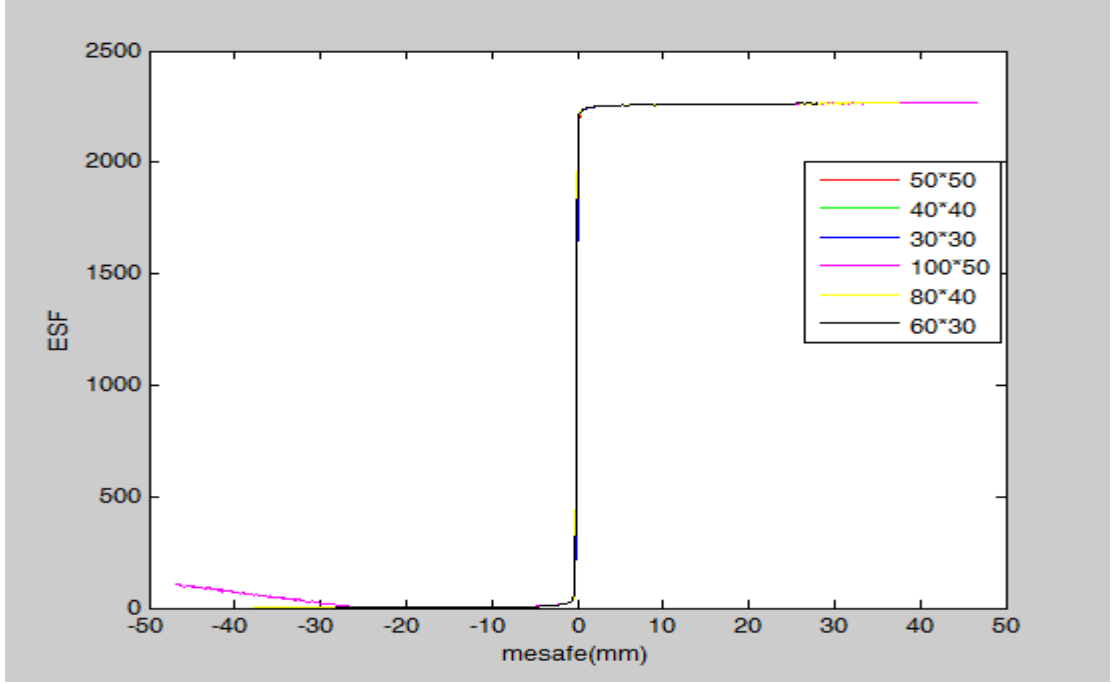
NBEGKY ve OBJ' de hesaplanan açı değerleri sonuçları Çizelge 4.3' te gösterilmektedir (Çizelge 4.3). Yazılımlardan hesaplanan açı değerleri karşılaştırılmalarında iki yazılım arasındaki fark en fazla %1 olarak bulunmuştur. Ayrıca OBJ programında, sadece kare ilgi alanları seçimi yapılabildiği, eşit olmayan ilgi alan seçimlerinin yapılamadığından dolayı o değerlere ait açı hesapları Çizelge 4.3'de verilememektedir.

4.4. Farklı İlgi Alan Seçimlerinin Kenar Dağılım Fonksiyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

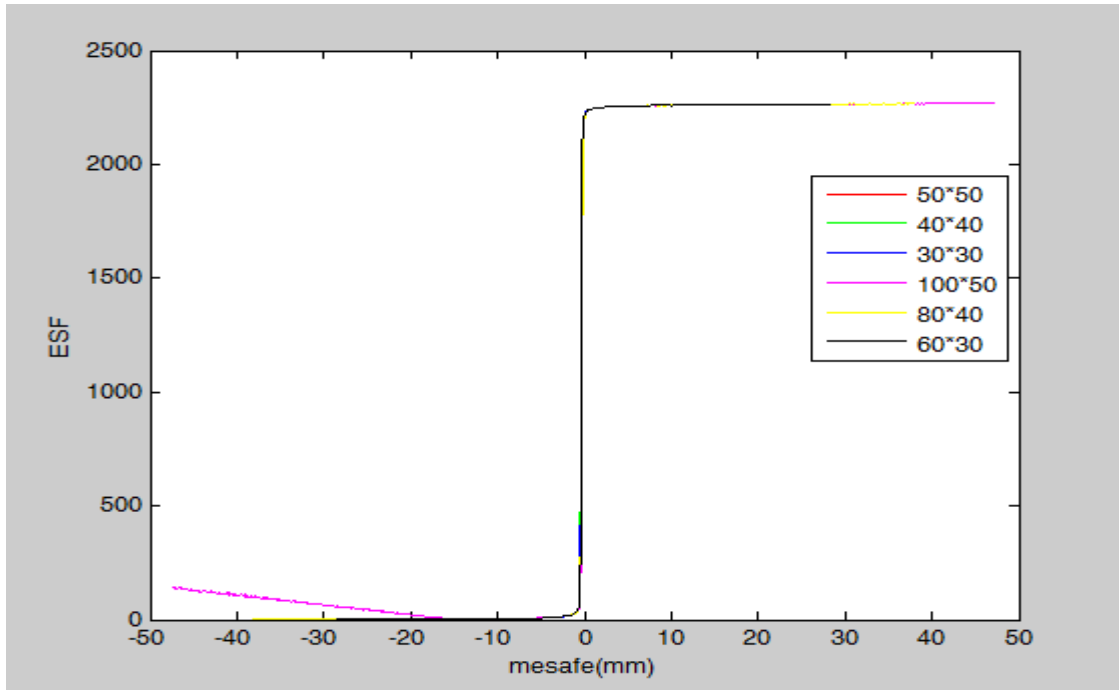
Üç farklı görüntüden data_MAM1, data_MAM2, data_MAM3 elde edilen kenar dağılım fonksiyonlarının farklı ilgi alanlarında elde edilen sonuçlar bir önceki Bölüm 3 'te anlatıldığı gibi hesaplanmıştır (Şekil 4.1, Şekil 4.3). Sonuçlara bakıldığında data_MAM1 ve data_MAM2 görüntüleri için, 50x100 mm ilgi alanı seçiminde görüntüleri tam olarak kapsamadığından dolayı (kenar görüntüye göre fazla alan seçiminden dolayı) Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de farklılıklar ve bozulma görülmektedir.

Seçilen ilgi alanlarına göre kenar dağılım fonksiyonlarının genlik bilgileri değişmemesine rağmen mesafe değerleri ilgi alanı arttıkça artmaktadır. Ancak farklı ilgi alan seçimlerinden dolayı kenar dağılım fonksiyonların uzunlukları farklı olduğundan sayısal bir karşılaştırma yapılamamıştır.

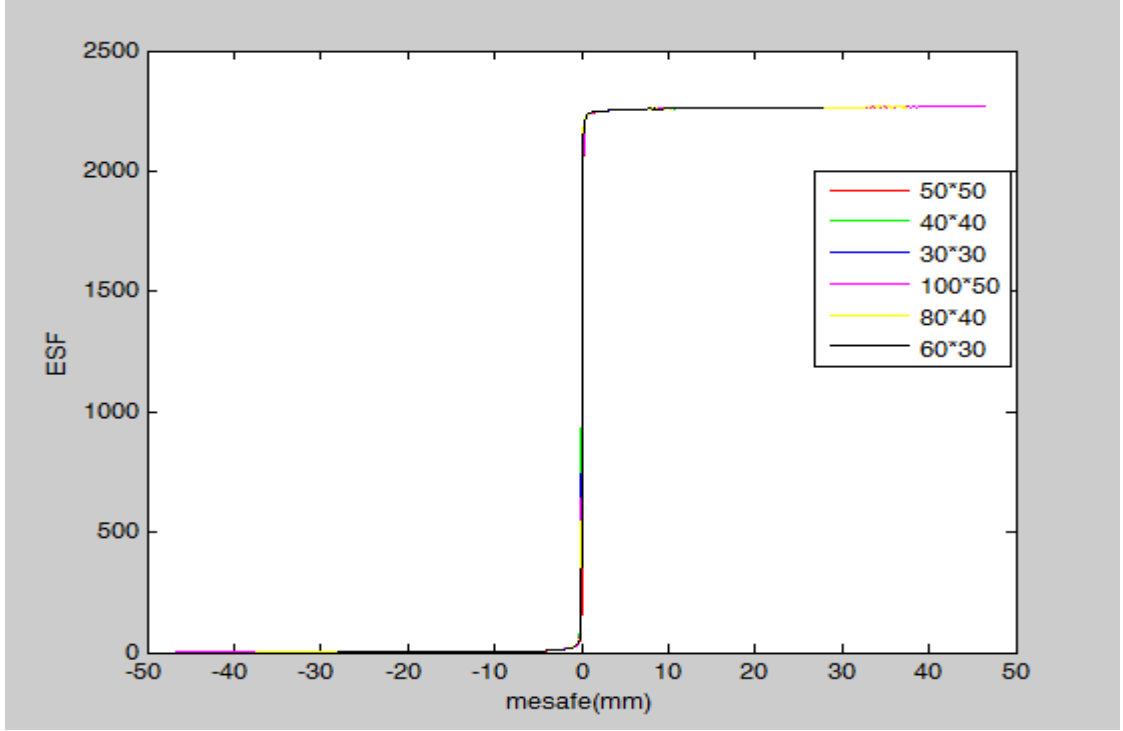
Açı hesaplamalarında da olduğu gibi, OBJ yazılımında kare ilgi alanı dışında bir seçim yapılamamaktadır. Kare ilgi alanı dışında seçim yapılarak çalışmaya göre görüntüden düşük frekans bilgilerini daha fazla ihtiyacı olduğundan dolayı NBEGKY yazılımına kullanıcı girişine göre ayarlanabilen seçim eklenmiştir (EK 2). Böylelikle kare ilgi alanı dışındaki seçimlerde de kenar dağılım fonksiyonlarını sonuçları elde edilmiştir (Şekil 4.1 - 4.3). Sonuçlara bakıldığında farklı ilgi alanları seçimlerinin, sonuçları büyük oranda değiştirmedeğinden dolayı görüntülere göre ve standartlara uygun ilgi alanı seçimi tavsiye edilmektedir.



Şekil 4.1 data_MAM1 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları



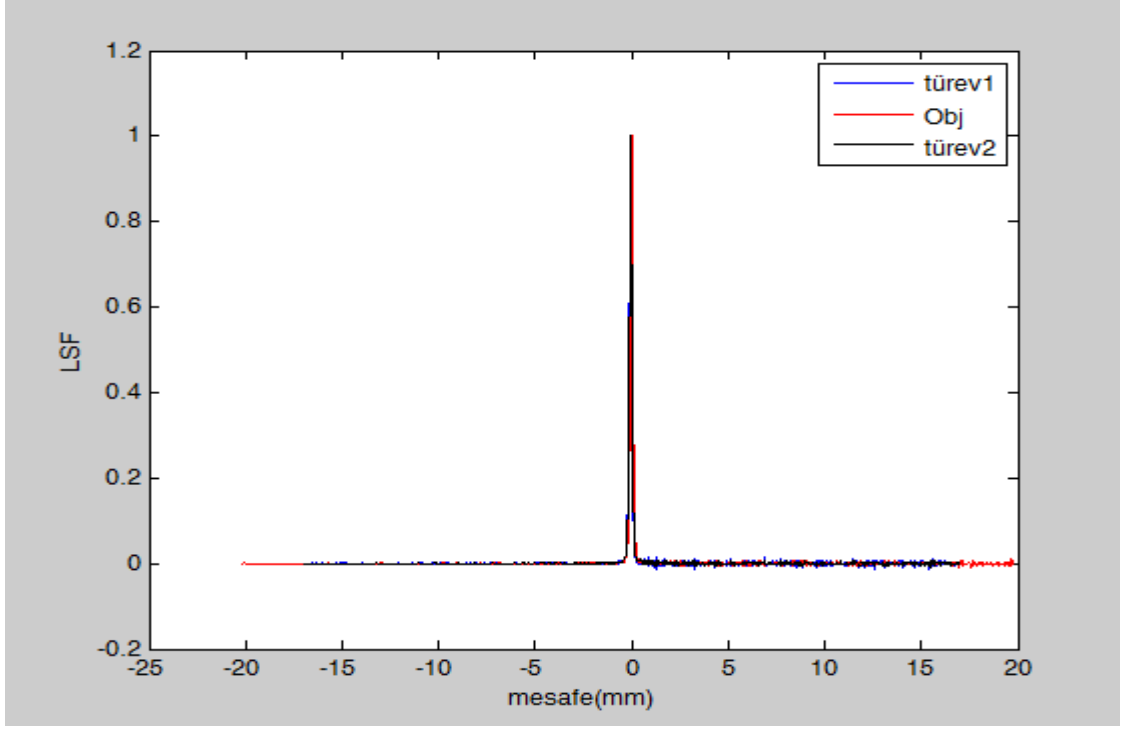
Şekil 4.2 data_MAM2 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları



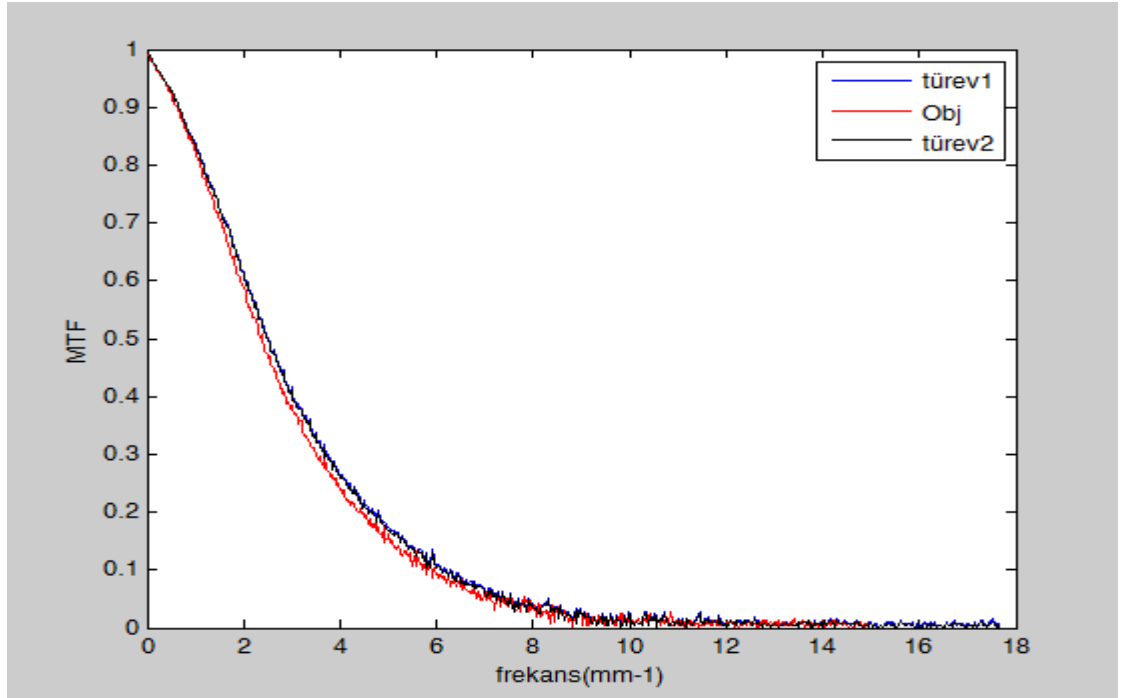
Şekil 4.3 data_MAM3 için farklı ilgi alanlarındaki kenar dağılım fonksiyonları

4.5. Farklı Türev Seçimlerinin Çizgisel Dağılım Fonksiyonu ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu Üzerine Etkilerinin İncelenmesi

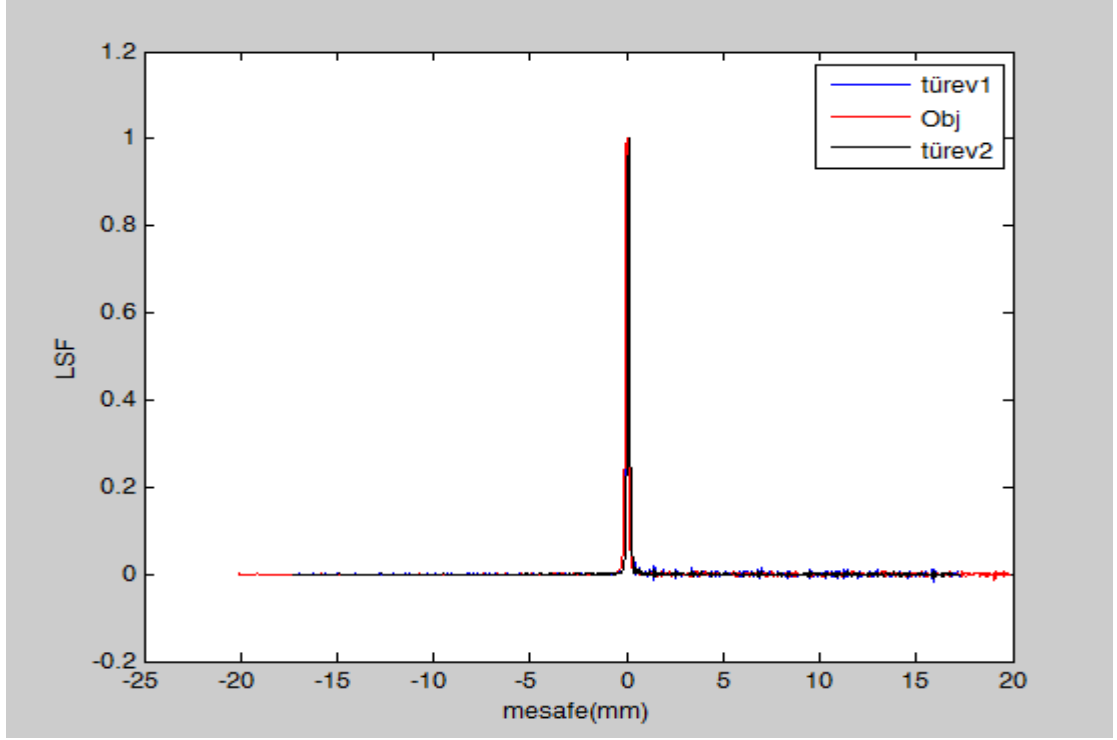
Üç farklı görüntüde aynı ilgi alanları seçilerek (40x40 mm) farklı türev operasyonlarının çizgisel dağılım fonksiyonu ve modülasyon transfer fonksiyonu üzerine etkileri incelenmiştir (Şekil 4.4 – 4.9). Türev operasyonlarından ilki ardışık iki nokta arası türev işlemi (türev1) , ikincisi ise bir atlamalı iki nokta arası türev işlemidir (türev2). Bu farklı türev işlemleri yazılımda (NBEGKY) oluşturularak OBJ programıyla karşılaştırılmıştır.



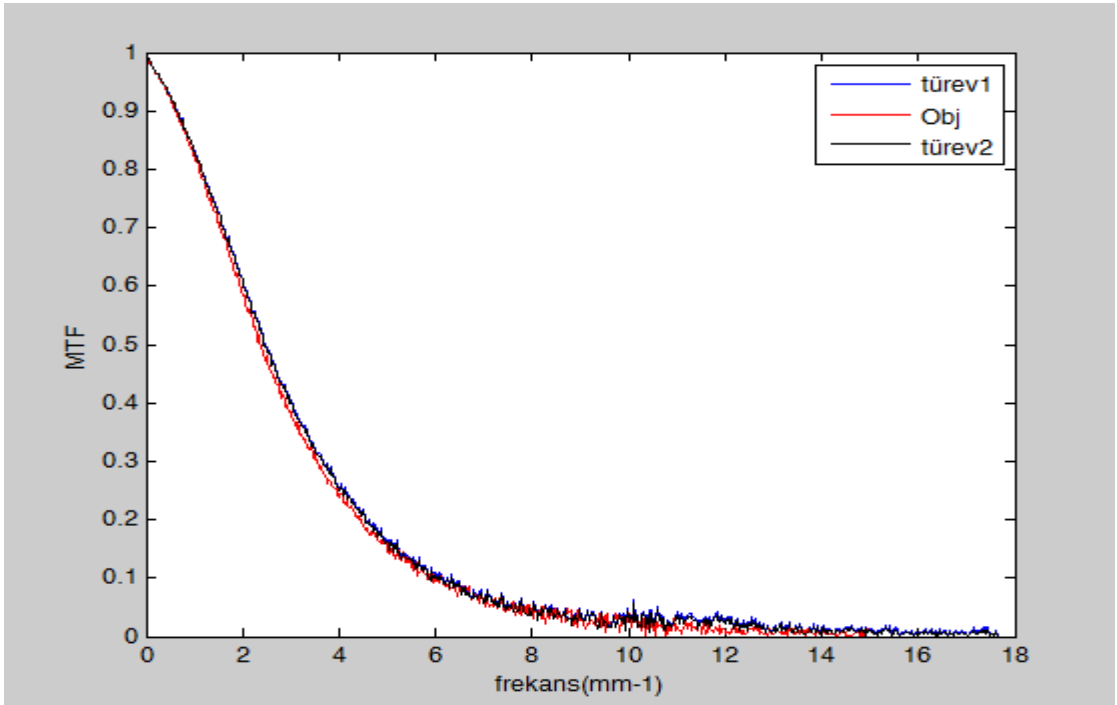
Şekil 4.4 data_MAM1 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları



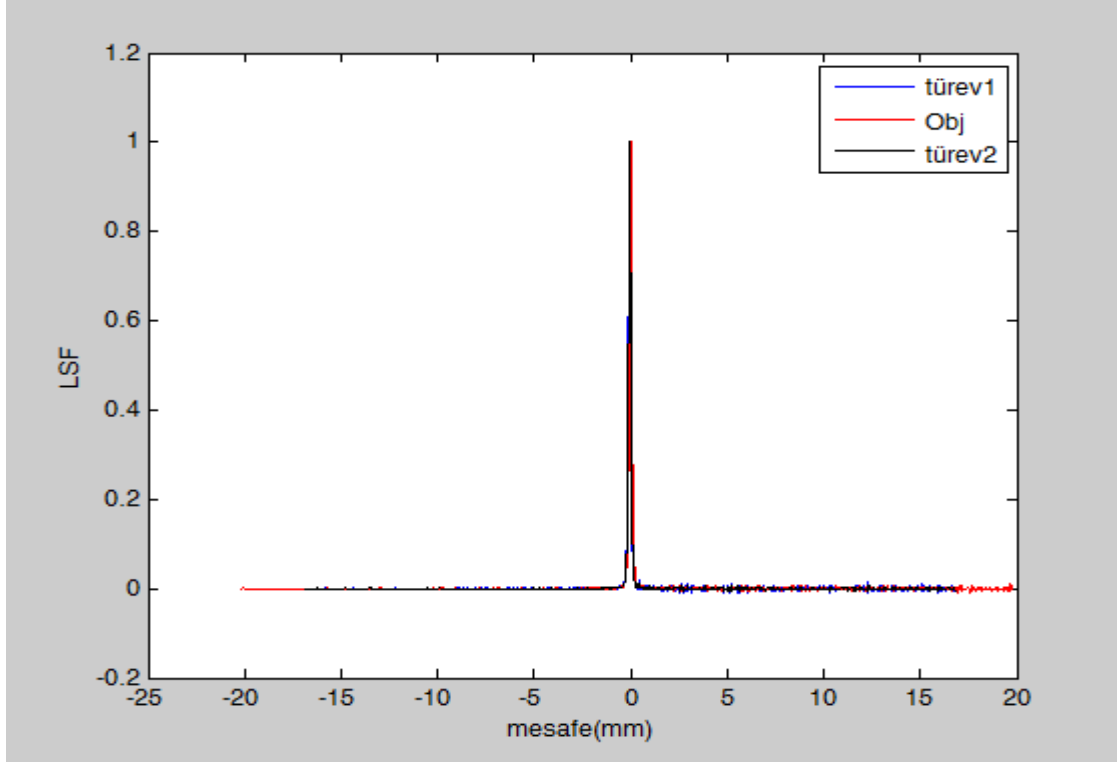
Şekil 4.5 data_MAM1 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları



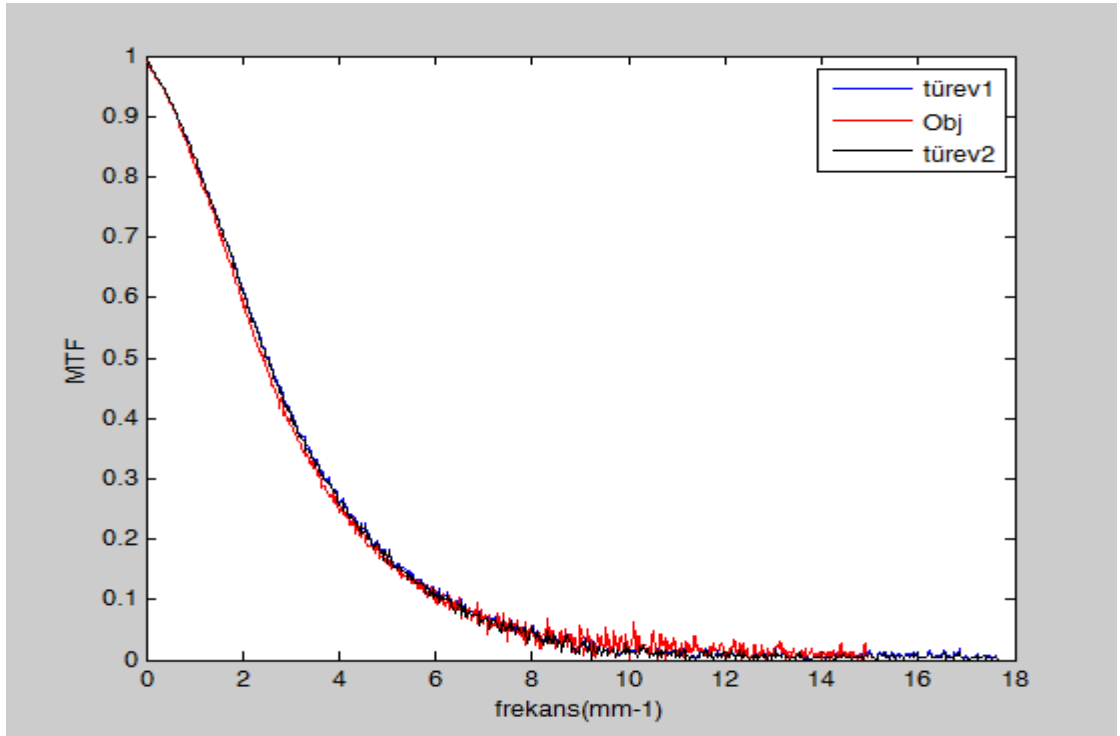
Şekil 4.6 data_MAM2 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları



Şekil 4.7 data_MAM2 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları



Şekil 4.8 data_MAM3 için farklı türev seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları

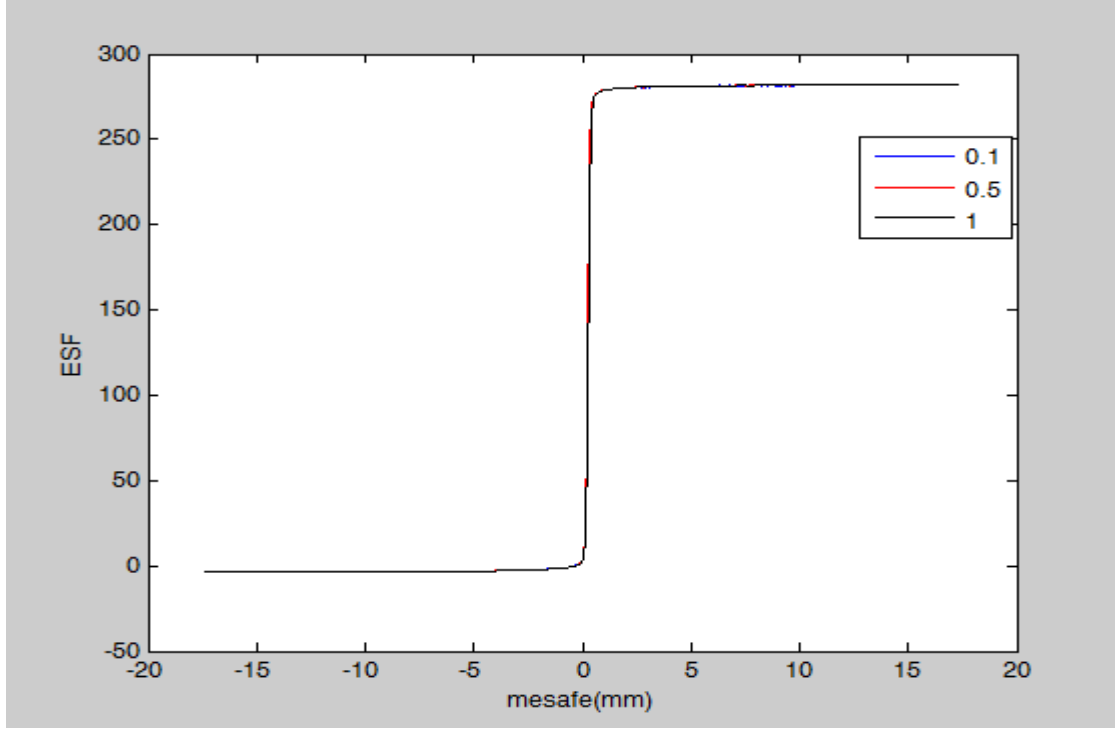


Şekil 4.9 data_MAM3 için farklı türev seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları

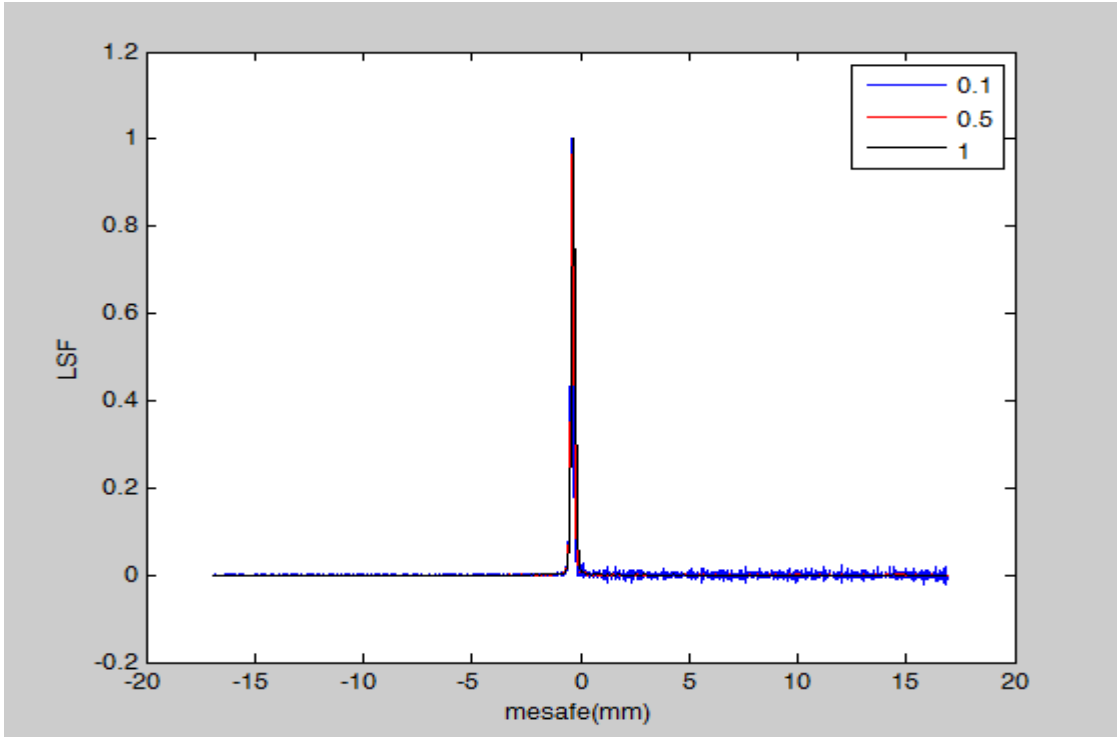
4.6. Farklı İnce Gruplama Kullanımlarının Kenar Dağılım Fonksiyonu, Çizgisel Dağılım Fonksiyonu ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu Üzerine Etkileri

Bu kısımda farklı ince gruplama (*rebinning*) değerlerinde data_MAM3 görüntüsüne yapılan işlemlerin kenar dağılım fonksiyonu, çizgisel dağılım fonksiyonu ve modülasyon transfer fonksiyonuna olan etkisi incelenmiştir. Önceki çalışmalarda ince gruplama (*rebinning*) değerinin 0.1 olarak ayarlanıp sonuçlar elde edilmiş ve bu sonuçlar OBJ programında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ise ince gruplama (*rebinning*) değerleri 0.1; 0.5; 1 olarak seçilmiş ve sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır (Şekil 4.10 - 4.12).

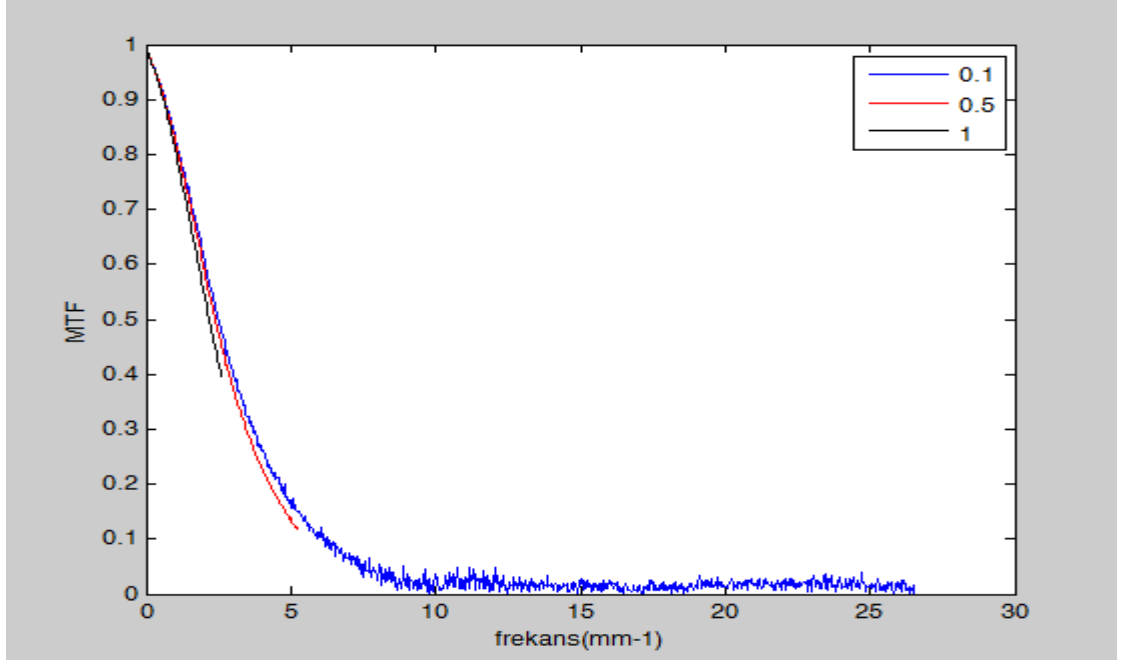
Şekil 4.12'de ince gruplama (*rebinning*) işleminin *MTF* hesabındaki etkisi açıkça görülmektedir. Herhangi bir ince gruplama (*rebinning*) işlemi yapılmaması durumunda Nyquist frekansı üzerinde frekanslara sahip bilgilere erişilememektedir. Ancak açılı olarak yerleştirilen kenar görüntüleri üzerinden yapılan ince gruplama (*rebinning*) işlemi ile görüntüde mevcut olan daha yüksek frekans bilgileri elde edilmiş olmaktadır. Bu arada ince gruplama (*rebinning*) aralıkları daraltıldığında sistem karakteristiğini etkileyen gürültü artışının hesaplamaları etkilememesine dikkat edilmelidir. Böylelikle sistemlerin piksel boyutunun etkisinden bağımsız olarak daha geniş frekans aralığında sistem karakteristiği elde edilmiş olur.



Şekil 4.10 Farklı ince grüplama seçimlerinde kenar dağılım fonksiyonları



Şekil 4.11 Farklı ince grüplama seçimlerinde çizgisel dağılım fonksiyonları

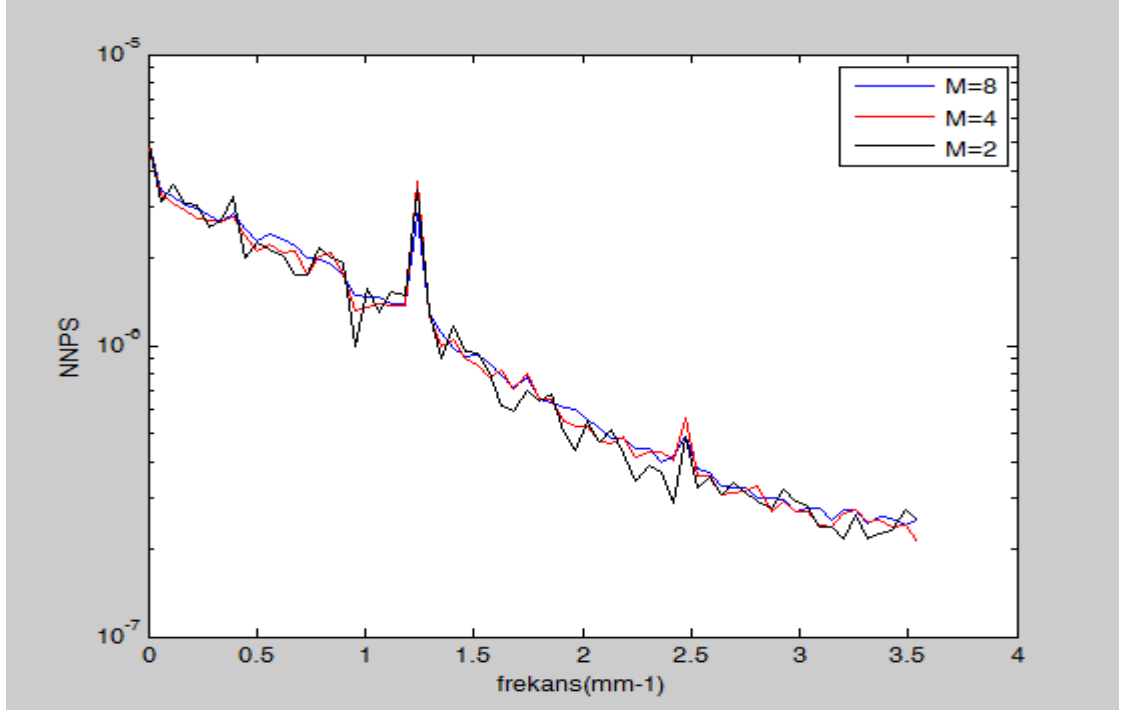


Şekil 4.12 Farklı ince gruplama seçimlerinde modülasyon transfer fonksiyonları

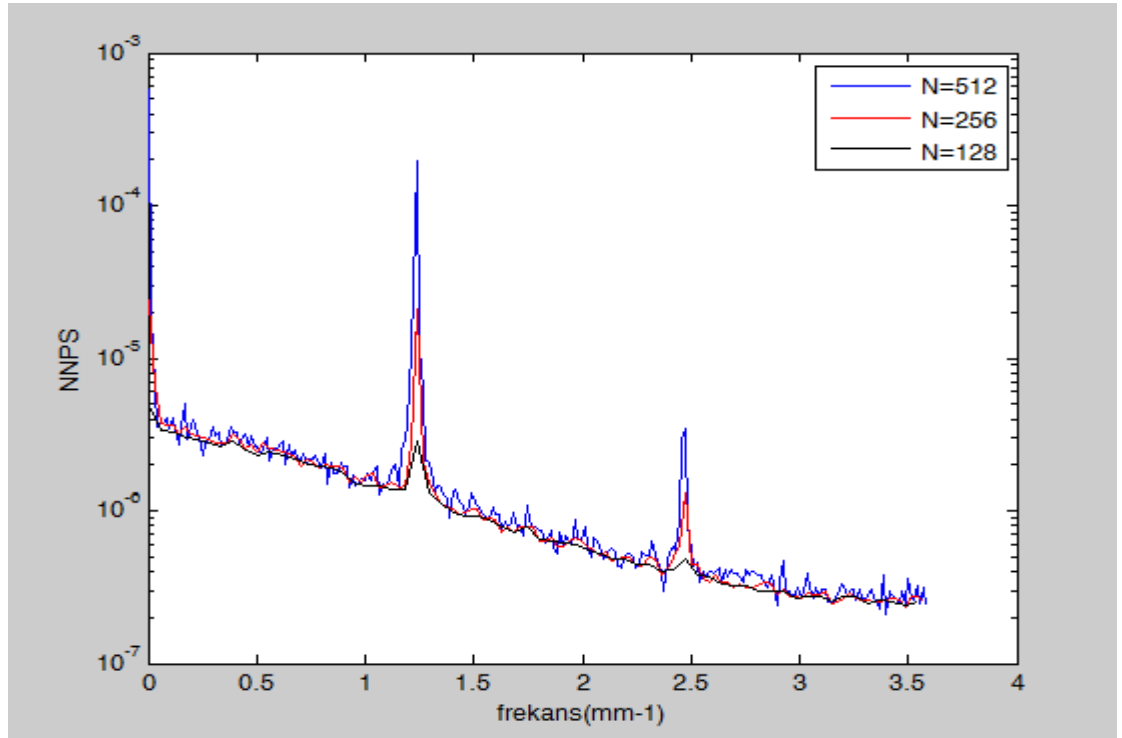
4.7. Farklı İlgili Alanları ve Piksel Sayısı Seçimlerinin Gürültü Güç Dağılımı Üzerine Etkileri

Bu kısımda data_DRX3'ten 1024x1024, 512x512, 256x256 piksellik alanlar sırasıyla 128x128'lik alanlara bölünerek NNPS bulunmasıyla ilgili işlemler yapılmıştır. (Şekil 4.13) Bu sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalara bakıldığında 1024x1024 alandan 128x128'lik ilgili alanlardan hesaplanan NNPS grafiği, daha fazla bölgeden ortalama alındığı için daha az gürültülü elde edilebilmiştir.

İkinci grafikte ise kullanılan homojen görüntülerden oluşturulan 1024x1024'lük alanın sırasıyla 512x512, 256x256, 128x128'lik ilgili alanlarına bölünerek NNPS bulunmasıyla ilgili işlemler yapılmıştır (Şekil 4.14). Yine karşılaştırmalara bakıldığında 1024x1024 alandan 128x128'lik ilgili alanlardan hesaplanan NNPS grafiği daha fazla bölgeden ortalama alındığı için daha az gürültülü elde edilebilmiştir.



Şekil 4.13 Farklı ilgi alanlarında hesaplamaların gürültü güç dağılımına etkileri

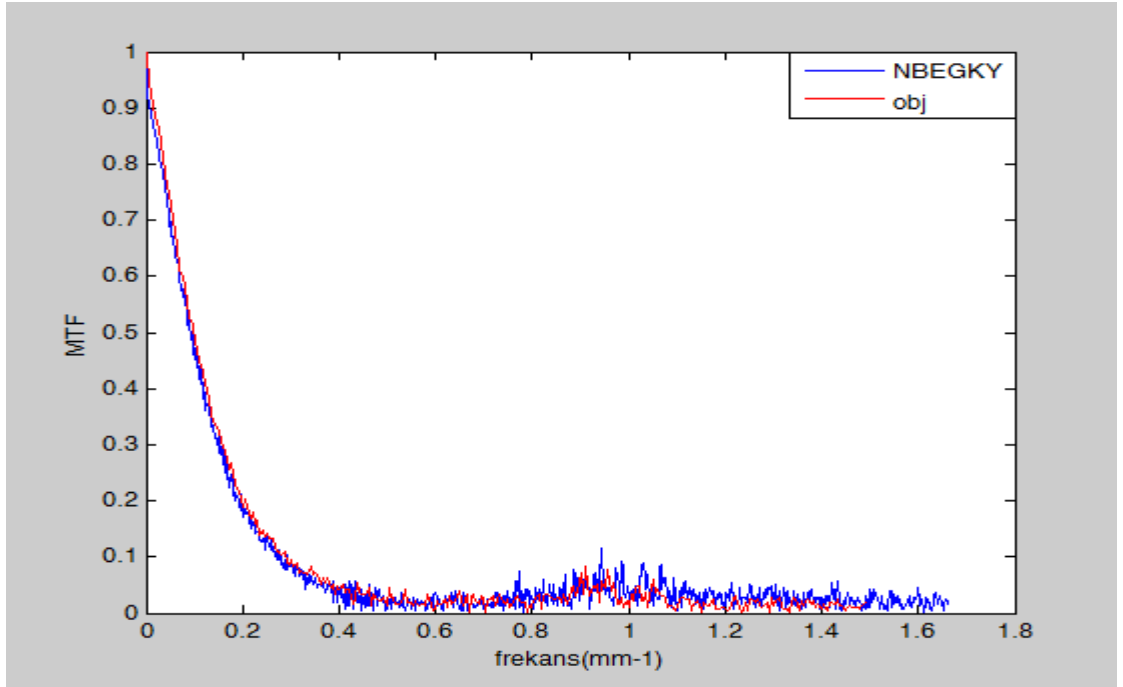


Şekil 4.14 Farklı alt ilgi alanlarındaki hesaplamaların gürültü güç dağılımına etkileri

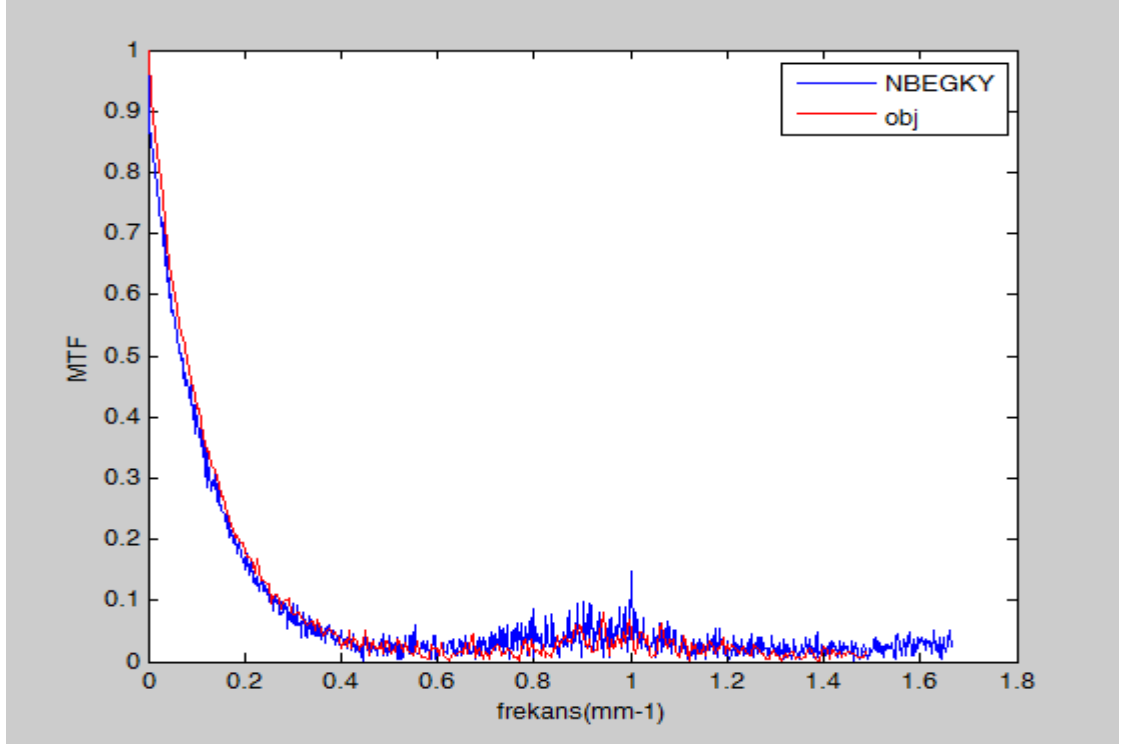
4.8. Farklı Sistemlerde Modülasyon Transfer Fonksiyonu, Gürültü Güç Dağılımı ve Dedeksiyon Kuantum Etkinliğinin Değerlendirilmesi

Floroskopi sisteminden elde edilen görüntülerin *MTF* sonuçları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de görülmektedir. NBEGKY ve OBJ yazılımları elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dijital radyografi sisteminden elde edilen görüntülerin modülasyon transfer fonksiyonu sonuçları Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de görülmektedir. NBEGKY ve OBJ yazılımlarıyla elde edilen sonuçlara karşılaştırılmıştır.

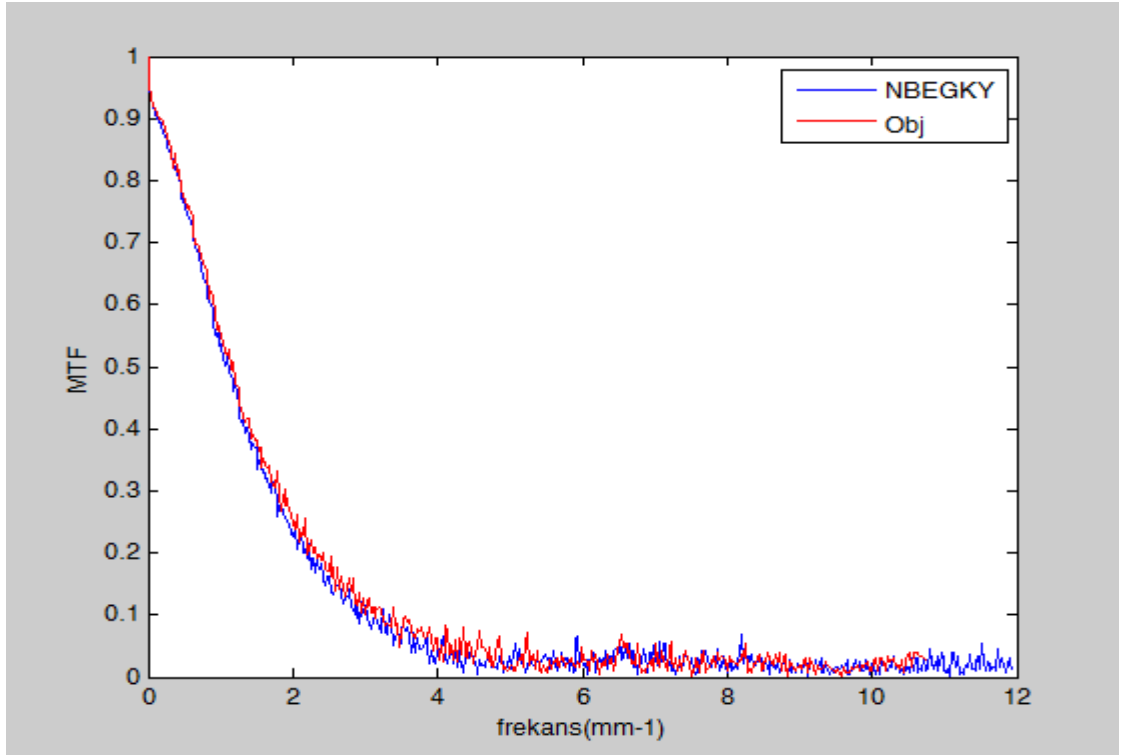
Farklı ışınlama parametrelerinde alınan görüntülerden elde edilen *MTF*'ler sistemlerin kendi için aynı olması beklenir. Bu durum, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17, Şekil 4.18'de' görülmektedir. *MTF* grafiklerindeki farklılıklar, yazılımlardaki algoritma farklılıklarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.



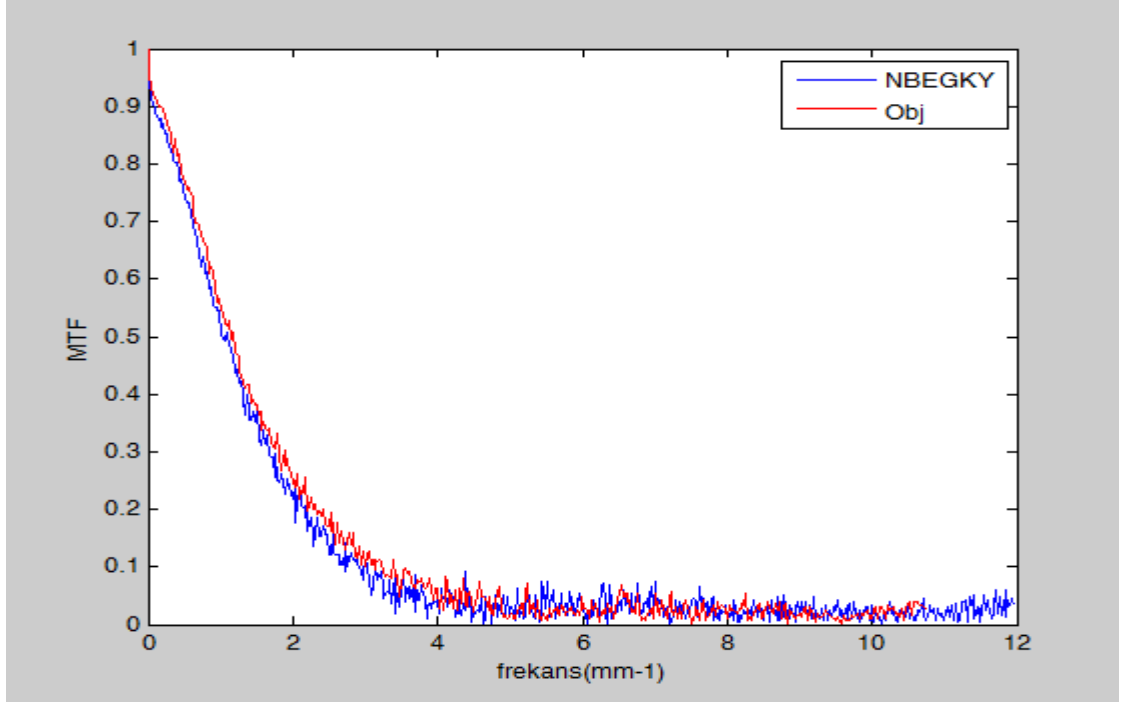
Şekil 4.15 data_FP1 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları



Şekil 4.16 data_FP2 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları

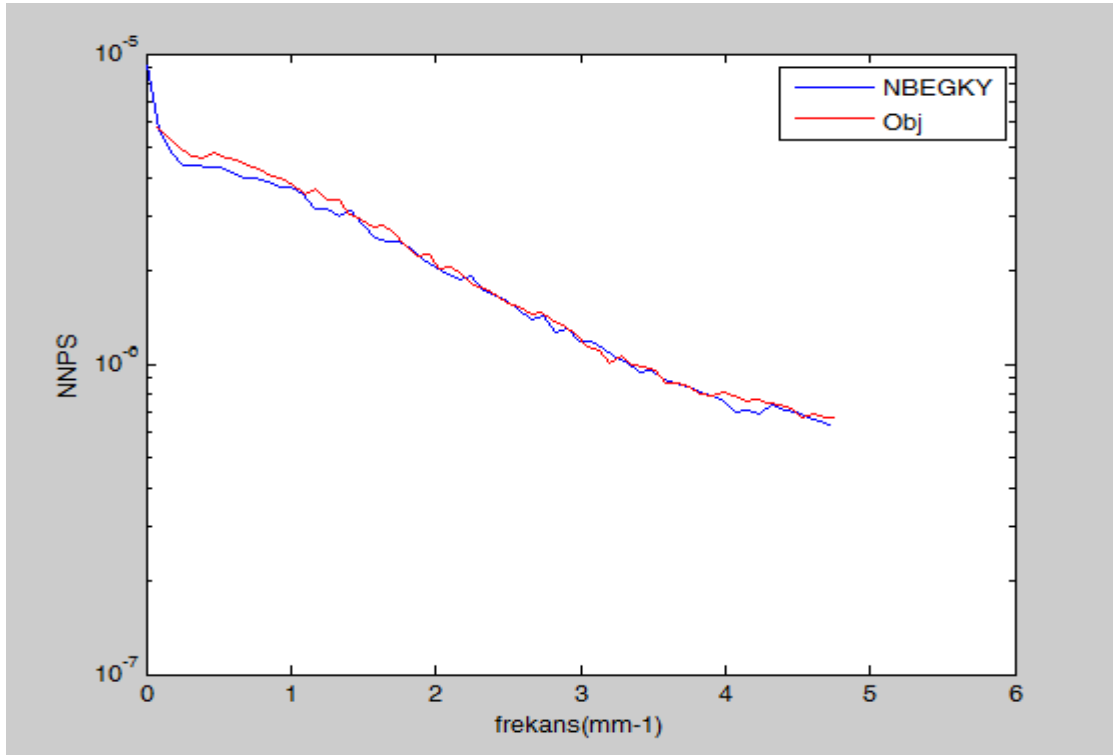


Şekil 4.17 data_DRX1 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları



Şekil 4.18 data_DRX2 için modülasyon transfer fonksiyonu karşılaştırmaları

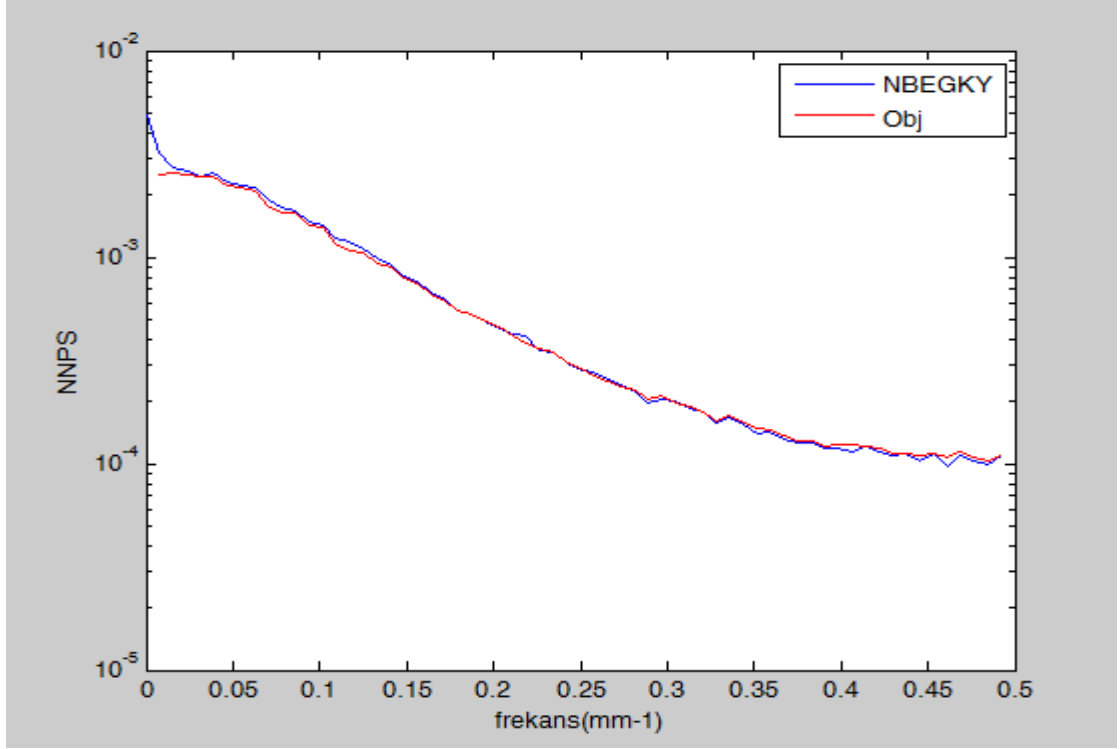
Mamografi sisteminden elde edilen homojen görüntüleri kullanılarak gürültü güç dağılımı hesaplanmıştır. NBEGKY ve OBJ yazılımlarıyla elde edilen gürültü genliklerinin frekans değerlerine göre çizilmesiyle oluşan grafiklerin sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Şekil 4.19'daki özellikle düşük frekanslarda farklılık görünmekle birlikte OBJ yazılımı 0 değerindeki *NNPS* değerini vermediği için tam bir karşılaştırma yapmak mümkün değildir. Düşük frekanslarda görünen farklılığın, Heel etkisini bastırmak için kullanılan algoritmalarındaki farklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



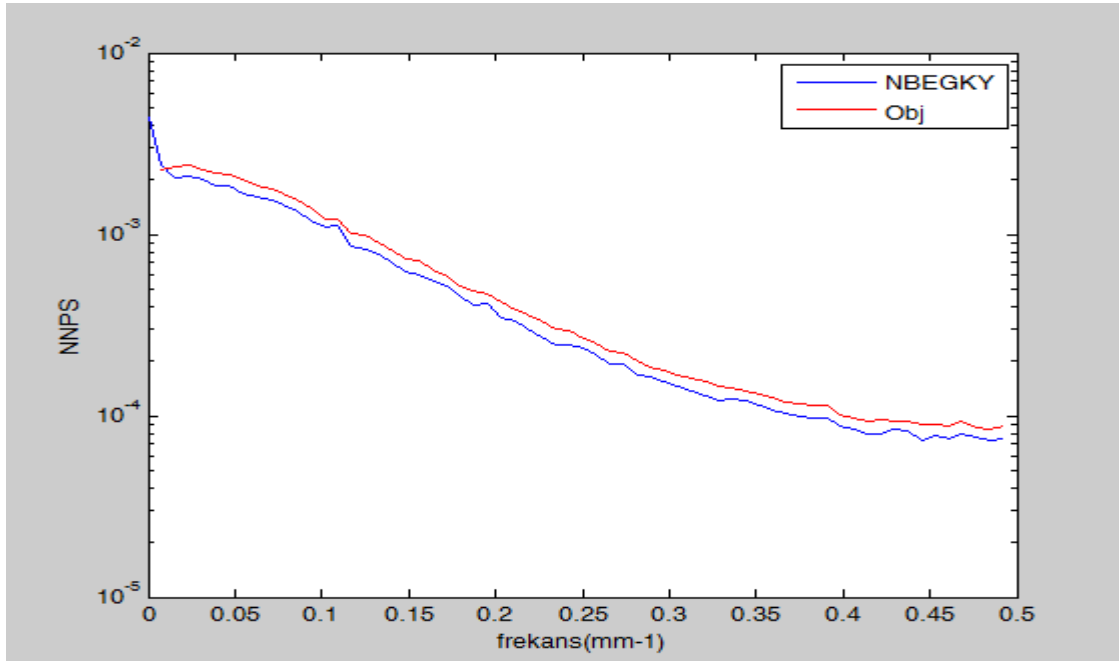
Şekil 4.19 data_MAM11 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları

Floroskopi sisteminden elde edilen görüntülerin gürültü güç dağılım sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de görülmektedir. Bu iki görüntü NBEGKY ve OBJ yazılımlarıyla elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Şekil 4.21’de, Şekil 4.20’e göre mAs değeri arttıkça gürültünün azaldığı görülmektedir. Aynı durumu artan kVp değerlerinde de söylemek mümkündür.

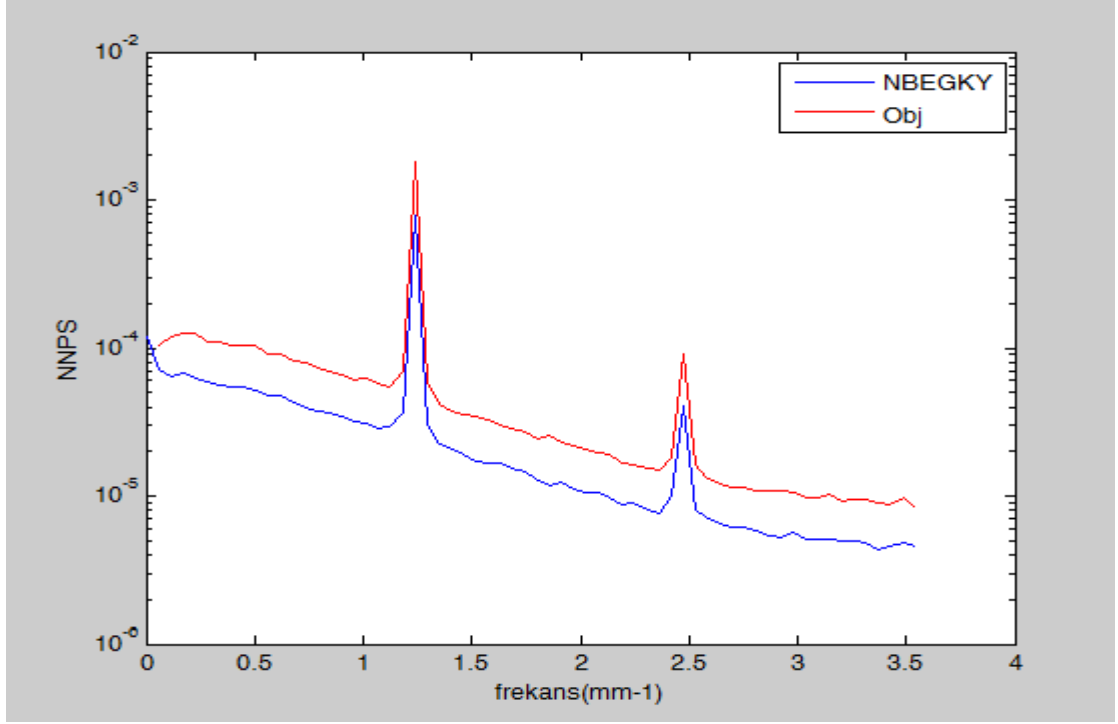
Dijital radyografi sisteminden elde edilen görüntülerin gürültü güç dağılım sonuçları Şekil 4.22-Şekil 4.25’de görülmektedir. Bu iki görüntü NBEGKY ve OBJ yazılımlarıyla elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Şekil 4.24, Şekil 4.23 karşılaştırıldığında mAs değeri arttıkça beklendiği gibi gürültünün azaldığı görülmektedir. Şekil 4.25, Şekil 4.24 ‘e göre mAs değeri arttıkça genlik değerinin azaldığı ve böylelikle gürültünün daha da azaldığı görülmektedir. Aynı durumu artan kVp değerlerinde de söylemek mümkündür.



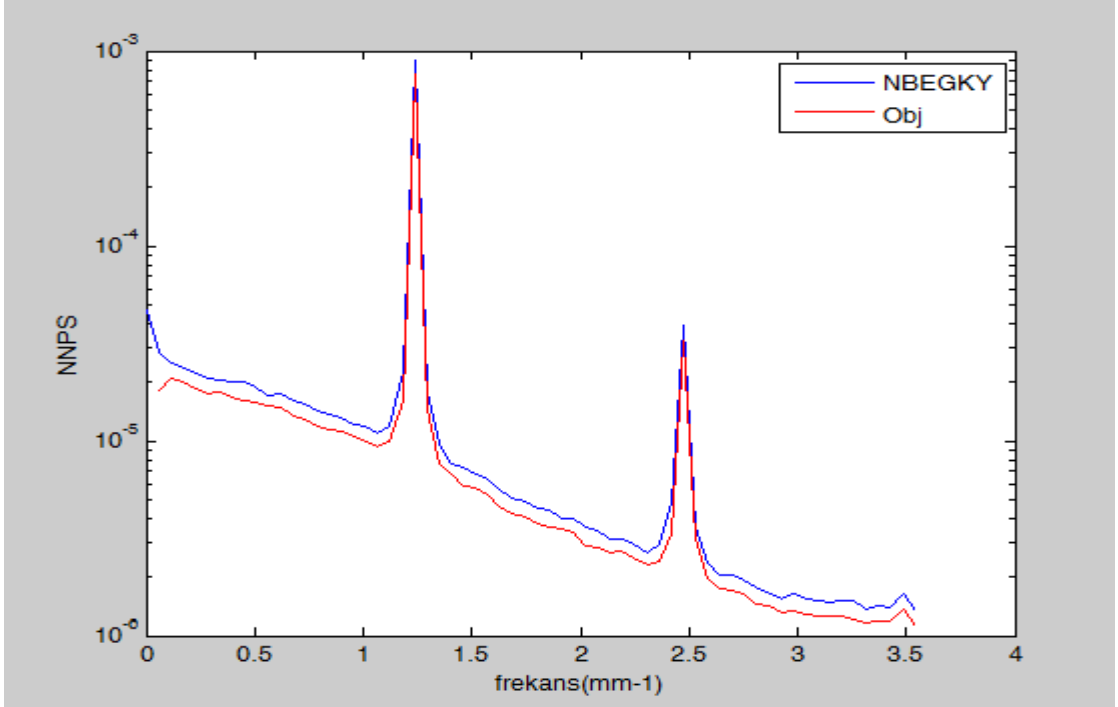
Şekil 4.20 data_FP11 için gürültü güç dağılımı fonksiyonu karşılaştırmaları



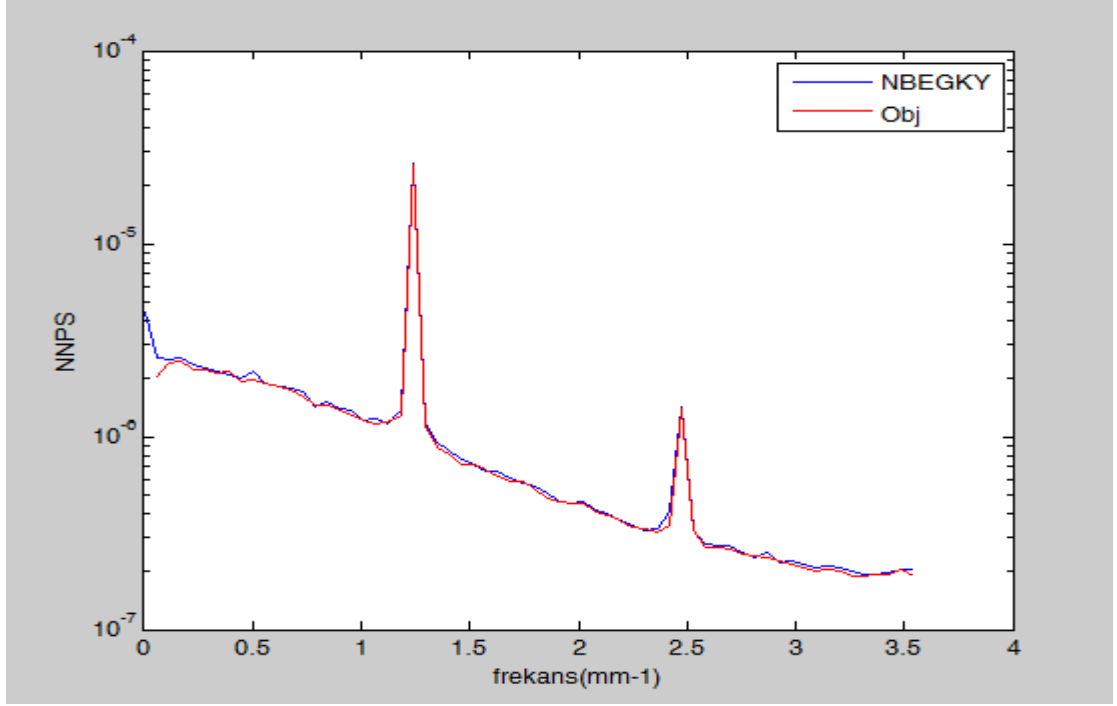
Şekil 4.21 data_FP12 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmalar



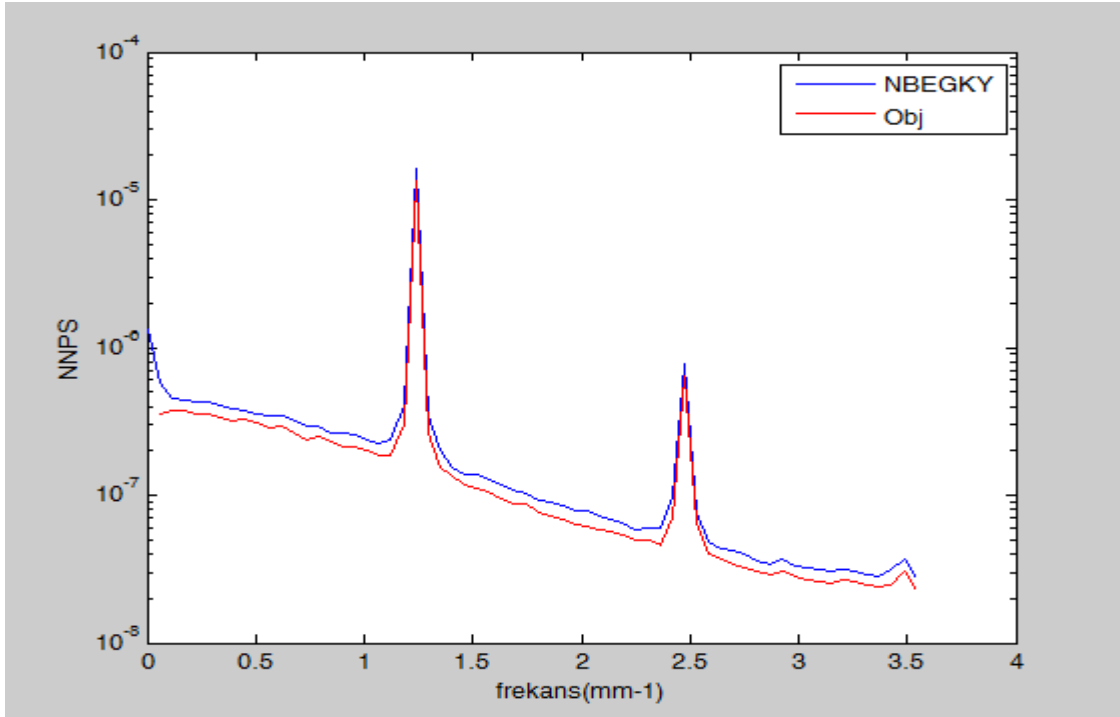
Şekil 4.22 data_DRX11 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları



Şekil 4.23 data_DRX12 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları

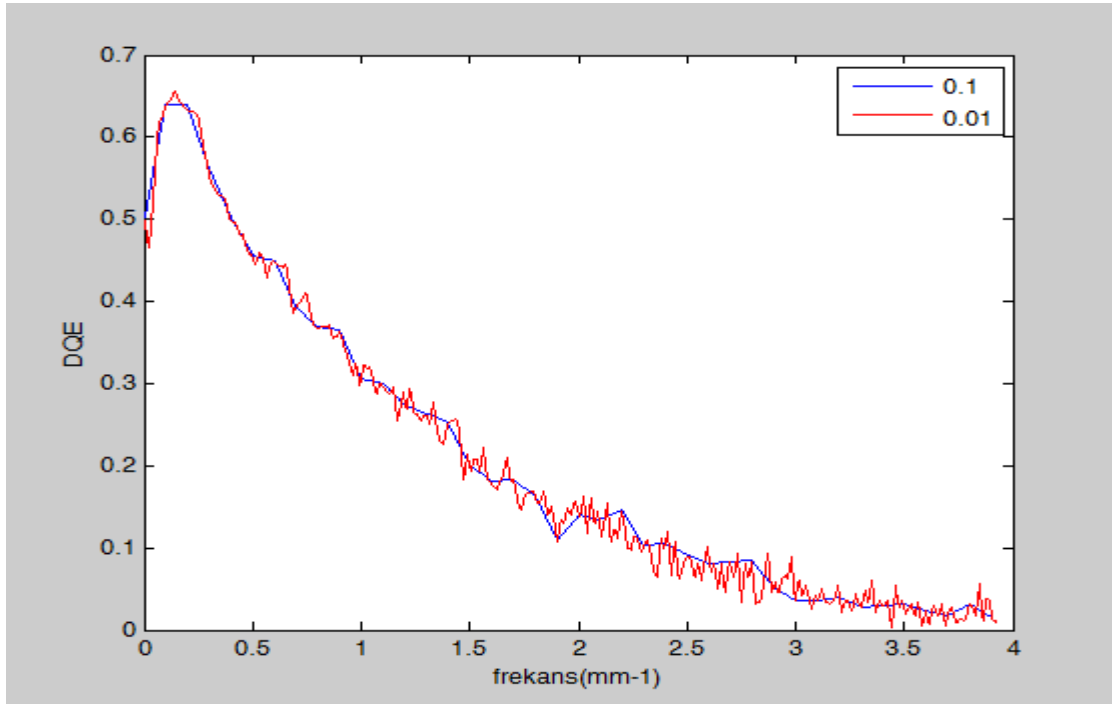


Şekil 4.24 data_DRX21 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları

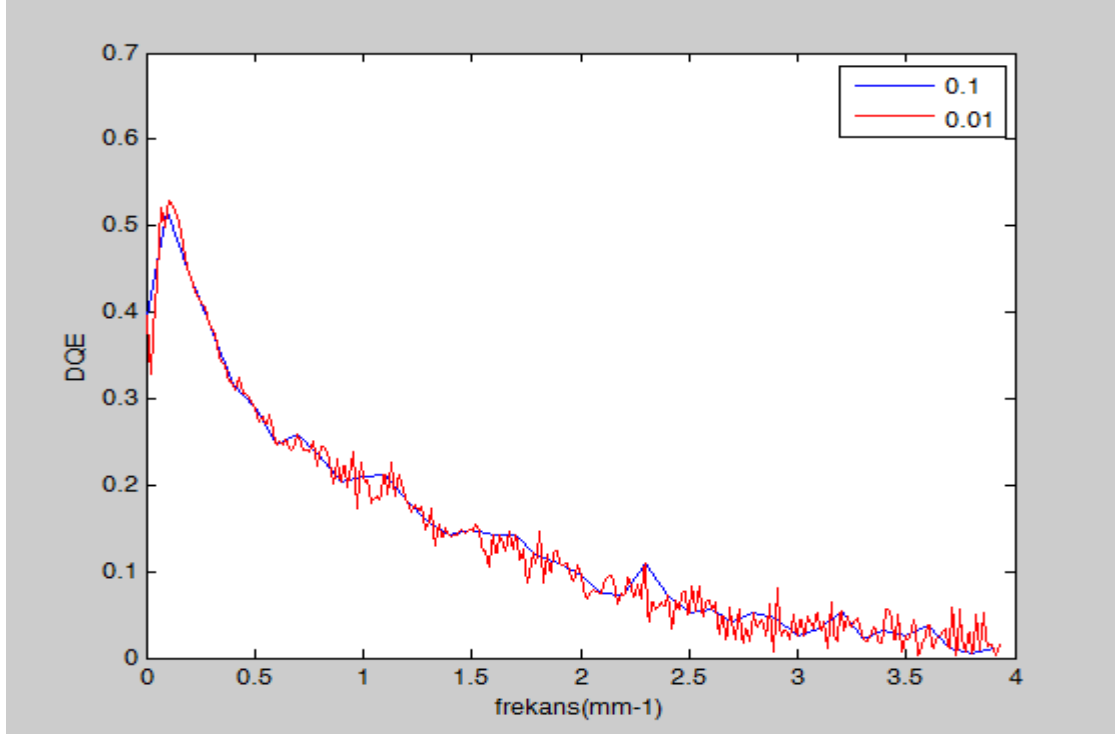


Şekil 4.25 data_DRX22 için gürültü güç dağılımı karşılaştırmaları

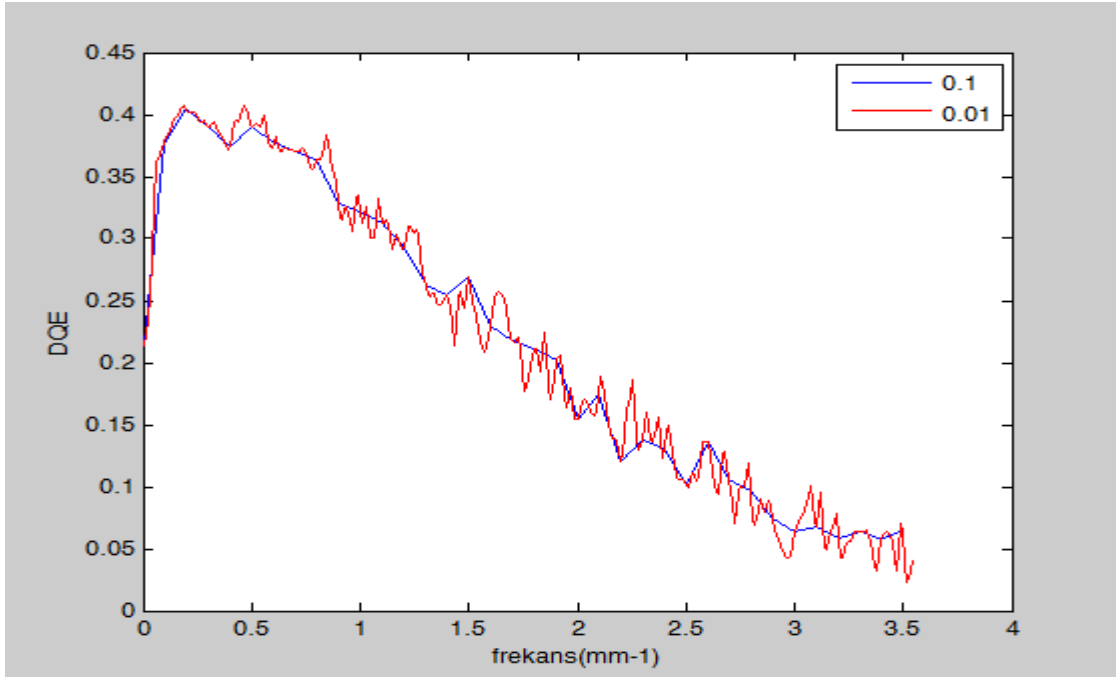
Dedeksiyon kuantum etkinliği grafikleri, modülasyon transfer fonksiyonu ile gürültü güç dağılımının aynı frekans değerlerinde birleştirilmesiyle Bölüm 3'deki yöntem ile elde edilmiştir. Dedeksiyon kuantum etkinliği elde edilirken denklemde yer alan q , değerleri x -ışın demeti dağılım benzeşim programı Xcomp5r kullanılarak hesaplanmıştır. X değeri ise gürültü güç dağılımının ölçüldüğü ışınlama değeridir. Farklı sistemlerden, hesaplanan bu değerler Denklem 3-19'da yerine koyularak dedeksiyon kuantum etkinliği grafikleri elde edilmiştir. Dedeksiyon kuantum etkinliği sonuçları genlikleri aynı fakat farklı frekans aralıklarında elde edilmiştir. (0.1 ve 0.01) Bu sonuçlar Şekil 4.26 – 4.28'de gösterilmektedir.



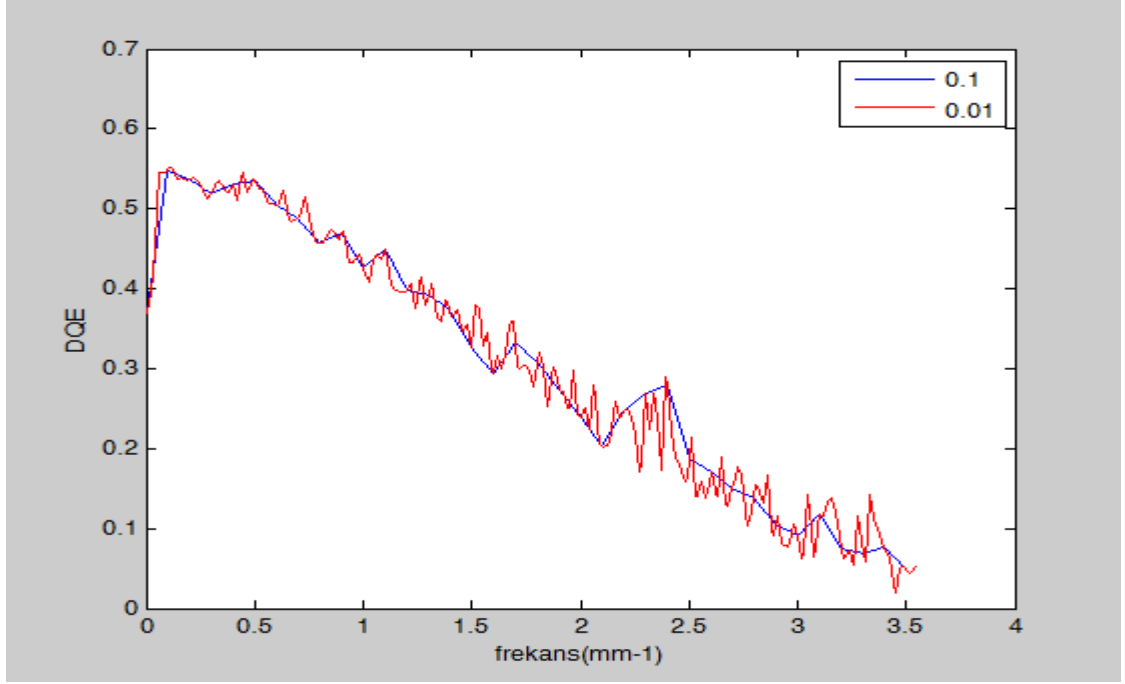
Şekil 4.26 data_FP1 ve data_FP11 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği



Şekil 4.27 data_FP2 ve data_FP12 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği



Şekil 4.28 data_DRX1 ve data_DRX11 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği



Şekil 4.29 data_DRX2 ve data_DRX21 kullanılarak oluşturulan dedeksiyon kuantum etkinliği

5. SONUÇ

Bu çalışmada, sayısal görüntüleme sistemlerinden alınan görüntülerde kalite kontrol testleri ve görüntü işleme uygulama algoritmaları gerçekleştirilerek, yine tez kapsamında geliştirilen bir kullanıcı arayüzü ile kullanıcılara sunulmuştur. İlk olarak arayüzün iskeleti oluşturulmuş, daha sonra iki kısım olarak düşünülen görüntü işleme ve kalite kontrol modülleri arayüze eklenmiştir.

Görüntü işleme modülünde, görüntü üzerinde yapılan bazı sayısal hesaplama yöntemleri ve sayısal radyolojik görüntüleme sistemlerinde sıklıkla kullanılan filtreler kullanılmıştır. Bu kısma kullanıcılar için kolaylık sağlaması açısından çeşitli uyarı ve yönlendirmeler eklenerek kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur (EK 2). Bu kısımdaki tüm uygulamalarda giriş parametreleri değiştirilebilir yapıda tasarlanarak kullanıcı arayüzüne aktarılmıştır. Bu modülün ağırlıklı olarak eğitim amaçlı kullanılabileceği düşünülmektedir.

Görüntü kalitesinin sayısal değerlendirilmesi, görsel olarak değerlendirmeye göre daha objektif sonuçlar vermekle ve bu sonuçlar gözlemciye göre değişmemektedir. Ayrıca sayısal yöntemler kullanıldığında pratik ölçüm düzenekleri ile sistemin frekans uzayında performansının belirlenmesi mümkündür. Bu nedenlerden dolayı, tez kapsamında görüntü kalitesinin sayısal olarak belirlenmesine odaklanılmıştır.

Görüntü kalitesinin sayısal değerlendirilmesi modülünde, uygulanan tüm işlemler kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla tez kapsamında tasarlanan ve gerçekleştirilen kullanıcı arayüzü üzerinden yapılmaktadır (EK 2). Tüm bu işlemler, IEC standardının parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilebildiği gibi, yazılımın esnek yapısı sayesinde araştırma amaçlı olarak farklı parametreler uygulanabilmektedir.

Görüntü kalitesinin sayısal hesaplamalarında önce, her inceleme için sistemlere uygun *STP* düzeltmeleri yapılmıştır. Böylelikle sistemlerden elde edilen görüntüler doğrusal hale getirilmiştir (IPEM 2010). Kuramsal temellerde anlatılan yöntemler, doğrusal

sistemler için geçerli olduğundan bu ilk aşama doğru sonuçlar elde edilebilmesi için şarttır.

Modülasyon transfer fonksiyon hesaplamalarında kenar görüntüleme metodu seçildiği için, ilk önce kenar açısı hesaplanmıştır. Farklı kenarlardan alınan görüntüler için elde edilen sonuçlar OBJ yazılımı ile karşılaştırıldığında sapma en fazla %1 olarak bulunmuştur. (Çizelge 4.4).

Şekil 4.1 - 4.3'te farklı ilgi alan seçimlerinde kenar dağılım fonksiyonlarının (*ESF*) nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu incelemenin yapılma sebebi, farklı kare ilgi alanlarında ve kare dışındaki ilgi alanlarında görüntüdeki düşük frekans bilgisinin (saçılan x-ışın etkilerini) grafiklere olan etkisini gözleme isteğidir (Dobbins et al. 2006). Kullanılan veriler için ilgi alan seçimlerine göre grafiklerin genlik değerlerinin değişmediği ancak görüntüdeki piksel değerlerinin, piksellerin kenardan olan uzaklıklarına göre değiştiği gözlenmiştir.

ESF'ten çizgisel dağılım fonksiyonuna (*LSF*) geçiş türev işlemiyle sağlanmıştır. Farklı türev yöntemlerinin *LSF* ve *MTF* üzerine etkileri, Şekil 4.4 - Şekil 4.9'de incelenmiştir. Farklı türev ifadeleri görüntü üzerinde farklı filtreleme etkileri gösterdiğinden, görüntüdeki gürültü seviyesi ve gözlemlenmek istenen etkilerin frekans karakteristiğine göre farklı yöntemler seçilebilir. Nokta atlamalı türevde gürültü etkileri daha iyi bastırılmakla birlikte, saçılma etkileri gibi dar bir frekans aralığında gözlemlenmek istenen yüksek değişim gösteren karakteristikleri de filtreleme riski olabilir.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de ince gruplama (*rebinning*) işleminin, *ESF* ve *LSF* hesaplamalarına olan etkisi görülmektedir. İnce gruplama aralıkları, arayüzün esnek yapısı sayesinde değiştirilerek *ESF* ve *LSF*'ler elde edilebilmektedir. Ancak ince gruplamanın (*rebinning*) sistem karakteristiğine etkisini, sistemlerin ayırma gücünün ifadesi olan *MTF* hesabından daha detaylı olarak gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4.12'de ince gruplama (*rebinning*) işleminin *MTF* hesabındaki etkisi açıkça görülmektedir. İnce gruplama işlemi yapılarak, *MTF* grafiklerinde Nyquist frekansı üzerinde frekanslara sahip bilgilere erişilmeye çalışılmıştır. İnce gruplama aralıkları, arayüzün esnek yapısı sayesinde değiştirilerek daha dar veya daha geniş frekans aralıklarında kullanılan sistemin karakteristikleri incelenebilmektedir. İnce gruplama (*rebinning*) aralıkları daraltıldığında, sistem karakteristiğini daha yüksek frekanslarda elde edilebilmekte ancak gürültü artmaktadır. Literatürde tavsiye edilen ince gruplama (*rebinning*) değeri 0.1'dir (Samei *et al.* 1998). Şekil 4.2'e göre daha yüksek ince gruplama değeri ile de kesim frekansına kadar karakteristiğın elde edilebileceği böylelikle daha az gürültülü *MTF* bulunabilir. Diğer bir yöntem ise, *MTF* hesaplanmadan önce ESF'e bir alçak geçiren filtre uygulanması olabilir. (Marshall 2006)

NBEGKY, *NNPS* hesaplamalarında kullanılan, ilgi alanı ve alt ilgi alanlarını boyutlarını belirleyen M ve N değerlerinin değiştirilebildiği bir esnek yapıya sahiptir. Böylelikle M ve N değerleri değiştirilerek, gürültü güç dağılımının, farklı ilgi alan ve farklı piksel sayısı seçimlerinde nasıl değiştiği gözlenmiştir (Şekil 4.13- Şekil 4.14). Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te ortak olan parametre olan, IEC standardında da tavsiye edilen, 1024x1024 alandan 128x128'lik ilgi alanı seçimiyle hesaplanan *NNPS* grafikleri, daha çok bölgeden ortalama alındığı için daha az gürültülü olarak elde edilebilmiştir. (IEC 2003). Ancak bazı görüntüleme sistemlerinde donanımdan kaynaklı görüntü matrisleri daha küçük olabilmektedir. Bu uygulamalar için bu parametrelerde ayarlanabilir olarak uygulanmıştır.

NBEGKY yazılımında, *MTF*'ler, *STP* düzeltmeleri yapılarak ve *MTF* değerleri sıfır frekanstaki değere bölünerek, sıfır frekanstaki 1'e normalize edilerek hesaplanmıştır. Şekil 4.5, Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.15 - 4.18'de NBEGKY' den elde edilen sonuçlar ile OBJ yazılımından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, görsel olarak kıyaslanmış ve bu sonuçların tutarlı oldukları görülmüştür. Aynı sistemlerden hesaplanan *MTF* sonuçlarının birbirine benzer çıkması beklenmektedir. Şekil 4.5, Şekil 4.7, Şekil 4.9, Şekil 4.15 - 4.18 incelendiğinde aynı sistemlerin *MTF* grafiklerinin, beklendiği gibi bulunmuştur.

NBEGKY yazılımında elde edilen *NNPS* sonuçları ile OBJ yazılımından elde edilen sonuçların karşılaştırmaları Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.24'de görülmektedir. Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.25'deki grafiklerde iki yazılımın çıktıları arasında kaymalar olduğu görülmüştür. NBEGKY, homojen görüntü üzerinde Heel etkisini çıkarmak için yapılan işlem haricinde herhangi bir filtreleme işlemi yapmamaktadır. Heel etkisini, görüntüden çıkarmak için polinoma fit etme ya da alçak frekans geçirgen filtreleme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.25'deki sonuçların karşılaştırmaları arasında farklılıkların sebebinin, iki yazılım arasındaki bu tür yöntem farklılıkları olduğu düşünülmektedir.

NBEGKY yazılımında, elde edilen *DQE* sonuçları *MTF*, *NNPS* ölçümlerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.26 - Şekil 4.29'de *DQE* ile ilgili sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlar, OBJ programında elde edilemediğinden dolayı karşılaştırmalar yapılamamıştır. Sonuçlar grafiklerde görüldüğü gibi farklı frekans değerlerinde elde edilerek oluşturularak aynı grafikte çizdirilmiştir.

Sonuç olarak, bu tezde görüntü işleme ve görüntü kalitesinin sayısal değerlendirmesi için özgün bir yazılım geliştirilmiş, literatürdeki görüntü kalitesi metrikleri için farklı algoritmalar denenmiş ve modüler bir yapıda bir araya getirilmiştir. Bütün bu yöntemleri kullanıcıya sunmak için tasarlanan ve gerçekleştirilen arayüz, modüler yapısı sayesinde ileride doğacak ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilebilir bir yapıdadır. Yazılım, hem eğitim amaçlı hem de araştırma faaliyetlerinde kullanılmak üzere tasarlandığı için, gelecekte bu altyapı kullanılarak kalite kontrol hesaplamalarına alternatif algoritmalar, yeni görüntü kalitesi ölçütleri gibi çeşitli değerlendirme modülleri eklenebilecektir.

KAYNAKLAR

Blanchet, G. and Charbit, M. 2006. Digital Signal and Image Processing Using Matlab. ISTE, 764, London.

Bor, D. 2002. Diagnostik Radyoloji Fiziği Ders Notları. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.

Bor, D. 2009. Nükleer Tıp Sayısal Görüntüleme Yöntemleri. Ankara.

Buhr, E., Günther-Kohfahl, S. And Neitzel, U. 2003. Accuracy of a Simple Method for Deriving the Presampled Modulation Transfer Function of A Digital Radiographic System from An Edge Image. Med. Phys., 30, 2323-2331.

Carton, A K., Vandenbroucke, D. And Struye, L., Bosmans, H. and Marchal, G. 2005. Validation of MTF Measurment for Digital Mammography Quailty Control, Phys. Med., 2(6).

Dobbins III, J. T., Samei, E., Ranger, N T., Chen, Y. 2006. Intercomparison of Methods for Image Quality Characterization. I. Modulation Transfer Function . 33(5), 1454-1465.

Dobbins III, J. T., Samei, E., Ranger, N T., Chen, Y. 2006. Intercomparison of Methods for Image Quality Characterization. II. Noise Power Spectrum. 33(5), 1466-1475.

Flynn, M J. and Samei, E. 1999. Experimentantl Comparison of Noise and Resolution for 2k and 4k Storage Phospor Radiography Systems. Med. Phys., 26(8), 1612-1623.

Flynn, M J. and Samei, E. 2003. An Experimental Comparison of Detector Performance for Direct and Indirect Digital Radiography Systems., 30(4), 608-622.

Gonzalez, R C., Woods R C. 2001. Digital Image Processing Second Edition. Prentice Hall,822, New Jersey.

IEC (International Electrotechnical Commission, International Standart IEC 62220-1.) 2003. “Medical Electrical Equipment-Characteristics of Digital Imaging Devices-Part 1: Determination of the Detective Quantum Efficiency,”

IEC (International Electrotechnical Commission, International Standart IEC 62220-1-2.) 2007. “Medical Electrical Equipment-Characteristics of Digital Imaging Devices-Part 1-2: Determination of the Detective Quantum Efficiency,”

IPEM (Institute of Phyiscs and Engineering in Medicine) 2010. Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-Ray Systems. IPEM Report 32. IPEM, York, UK.

Jain, A K. 1986. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall,569,New Jersey.

Lyra, M., Ploussi, A. And Georgantzoglou A. 2010. MATLAB as a Tool in Nuclear Medicine Image Processing., 477-500.

Marchand, P., Holland O T. 2000. Graphics and Guis with Matlab, Third Edition. Chapman & Hall/CRC, 523,London.

Marshall, N W. 2006. A Comparison Between Objective and Subjective Image Quality Measurements for A Full Field Digital Mammography System, Phys. Med. Biol., 51, 2441–2463.

Marshall, N W. 2007. Early Experience in the Use of Quantitative Image Quality Measurements for the Quality Assurance of Full Field Digital Mammography X-Ray Systems, *Phys. Med. Biol.* 52, 5545–5568.

Marshall, N W. 2009. An Examination of Automatic Exposure Control Regimes for Two Digital Radiography Systems, *Phys. Med. Biol.* 54, 4645–4661.

MathWorks Inc., 2009. MATLAB User's Guide. The MathWorks Inc., United States of America.

Medic, E., Soltani, M. 2005. Methods for Characterization of Digital, Image-Producing Detectors Within Medical X-Ray Diagnostics., 1-34.

Olgar, T. 2004. Girişimsel Anjiyografide Optimum Doz Ölçüm Yöntemlerinin Görüntü Kalitesine Bağlı Olarak Geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 1-103.

Papp, J. 2002. Quality Management in the Imaging Sciences. Mosby, 287, St. Louis.

Russ, J C. 1999. The Image Processing Hand Book, Third Edition, CRC Press., ISBN:0-8493-2532-3.

Samei, E., Flynn, M J., Reimann, D A. 1998. A Method for Measuring the Presampled MTF of Digital Radiographic Systems Using an Edge Test Device. *Med. Phys.*, 25(1), 102-113.

Samei, E. 2003. "Performance of Digital Radiography Detectors: Quantification and Assessment Methodologies," in *Advances in Digital Radiography* Radiological Society of North America RSNA Publication, Oak Brook, IL, 37–47.

Scharcanski, J. 1997 "Edge Detection of Color Images Using Directional Operators", *IEEE Trans. On Circuit and Systems for Video Technology*, Vol. 7, No. 2.

Semmlow, J L. 2004. Biosignal and Biomedical Image Processing. Marcel Dekker,Inc., 443,New York.

Umbaugh, S.E. 1999. Computer Vision and Image Processing A Practical Approach Using CVIP tools, Prentice Hall, New Jersey.

Wesolkowski, S., Jerigan, M. E., Dony, R. D. 2000.“Comparison of Color Image Edge Detectors in Multiple Color Spaces”, Proc. IEEE Int. Conf. Image Process, Vol. II, 796-799.

The MathWorks, Inc., 2013. Websitesi: www.mathworks.com. erişim tarihi: 21.04.2012

EKLER

EK 1 Tanımlar

EK 2 Ankara Nükleer Bilimler Enstitüsü Görüntü İşleme ve Kalite Kontrol Yazılımı
Kullanma Kılavuzu (NBEGKY)

EK 1

TANIMLAR

Aliasing: Dijital görüntülerde, gerçekte Nyquist frekansından (f_n) daha yüksek frekansların olması ve bu yüksek frekansların görüntüye daha düşük frekanslarda yansımaya denir.

Kenar Dağılım Fonksiyonu (ESF): Kenar görüntüsündeki, kenar dik düzlemdeki her satır için yeni oluşan konumlardaki piksel değerlerinin, piksellerin kenardan olan dik uzaklıklarına göre çizdirilmesi ile oluşan fonksiyona denir.

Çizgisel Dağılım Fonksiyonu (LSF): Kenar dağılım fonksiyonunun türevi alınarak oluşturulan fonksiyona denir.

Dedeksiyon Kuantum Etkinliği (DQE): İdeal bir dedektörün çıkışında ölçülen sinyal gürültü oranının girişte sinyal gürültü oranına oranıdır.

Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF): Uzaysal frekansın bir fonksiyonu olarak sistemin sinyal transferi olarak açıklanmaktadır.

Gürültü Güç Dağılım (NPS): Frekans uzayında frekansa bağlı olarak genlik değişimleriyle görüntüdeki gürültü değişimlerinin ayrıntılı ifadesidir.

Normalize Gürültü Güç Dağılım (NNPS): Dedektör sinyaline normalize edilmiş gürültü güç dağılımı.

Nyquist Frekansı (f_n): Örnekleme aralığı (Δ_x) ile görüntüde bulunan en yüksek frekans arasında $\Delta_x = 1 / f_n$ ilişkisi vardır. Burada f_n , Nyquist frekansı olarak adlandırılır.

Piksel: Görüntüdeki en küçük element.

Rebinning: Kenar dağılımı fonksiyonu elde edilirken daha sık örneklenecek yapılan ince gruptama işlemidir.

Sinyal Transfer Fonksiyonu (STP): Çıkış parametresi ile dedektörde hava kerma veya mm^{-2} 'deki foton arasındaki ilişkidir. Bu fonksiyon görüntü kalitesi analizlerinde görüntüde normalize ve doğrusallaştırma işlemleri için kullanılır. Dedektör cevap fonksiyonu veya çevirme faktörü olarak bilinir. STP enerjiye bağımlıdır.

EK 2

**ANKARA NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ GÖRÜNTÜ İŞLEME VE
KALİTE KONTROL YAZILIMI KULLANMA KILAVUZU (NBEGKY)**

1. GİRİŞ

2. KALİTE KONTROL ARAYÜZÜ

2.1 Görüntü Yükleme

2.2 Sinyal Transfer Fonksiyonu (STP) Düzeltmesi

2.3 İlgili Alanların Seçimi (ROI)

2.4 Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) Hesaplanması

2.5 Gürültü Güç Dağılımı (NPS) Hesaplanması

2.6 Dedeksiyon Kuantum Etkinliği (DQE) Hesaplanması

3. GÖRÜNTÜ İŞLEME ARAYÜZÜ

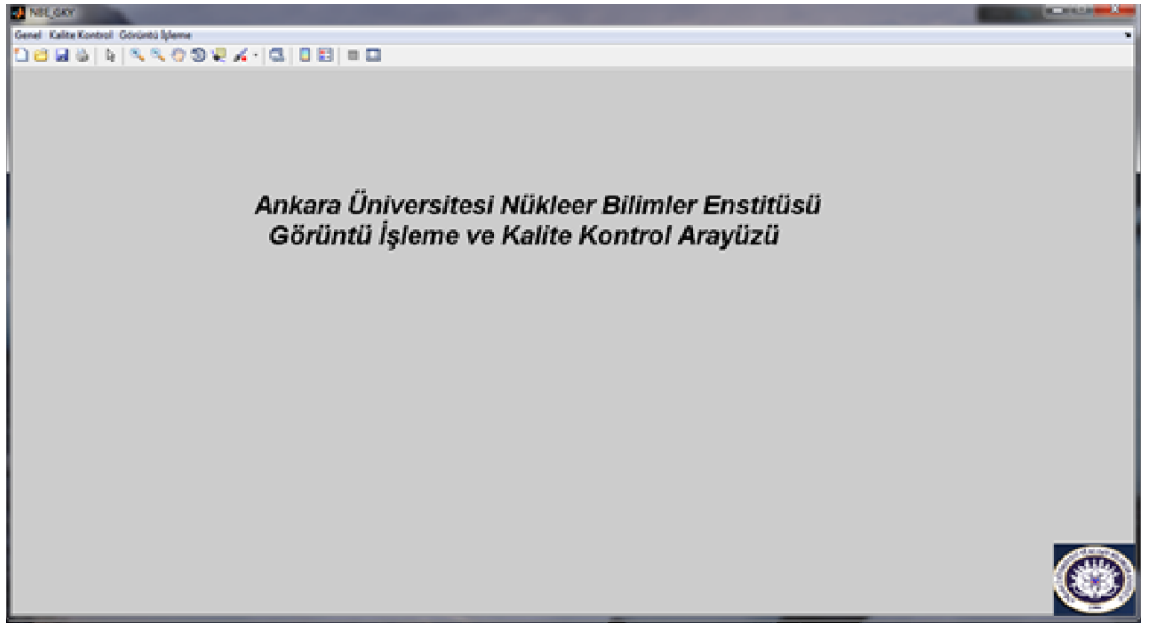
3.1 Görüntü Yükleme

3.2 Görüntü İşleme Uygulamaları

1. GİRİŞ

Bu bölümde MATLAB programı kullanılarak hazırlanmış ve MATLAB GUI m-file kısmı yardımıyla özelleştirilmiş, görüntü kalite testlerinin sayısal olarak değerlendirilmesi ve çeşitli görüntü işleme çalışmalarının yapılabileceği arayüz tasarımı anlatılacaktır.

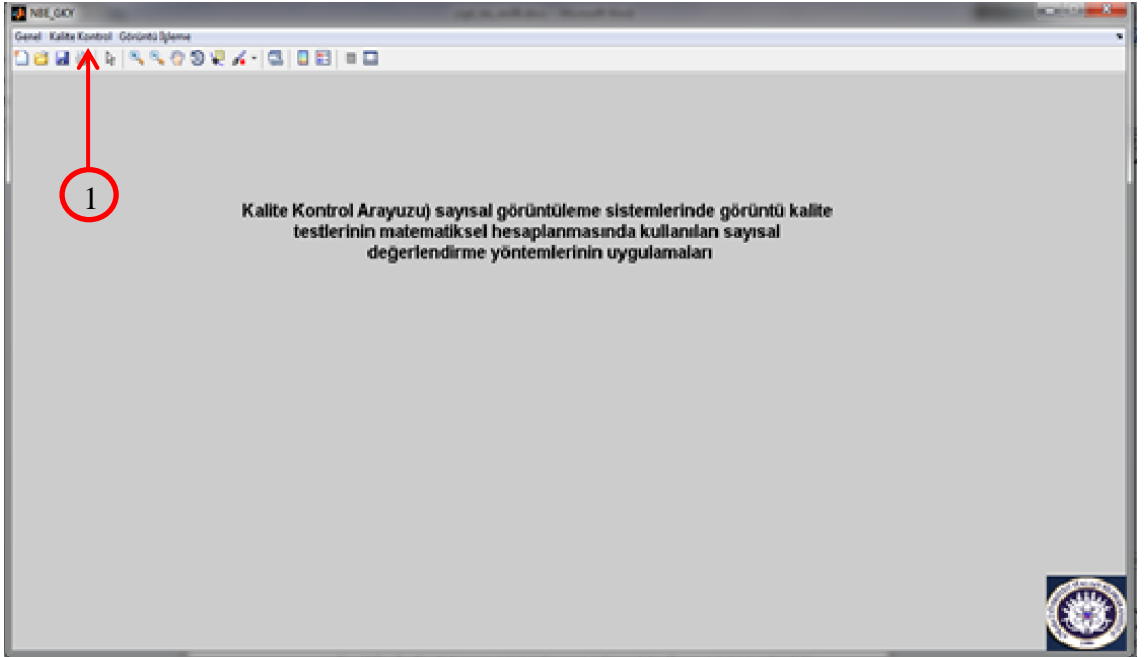
Tasarlanan yazılım iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki kalite kontrol arayüzü, diğeri ise görüntü işleme arayüzüdür. Aşağıda program başlatıldıktan sonra karşımıza çıkan giriş ekranı görünmektedir.



2.KALİTE KONTROL ARAYÜZÜ

Bu bölümde kullanıcının iki seçeneği mevcuttur. Bunlardan ilki kalite kontrol giriş diğeri ise uygulama kısmıdır. Kalite kontrol arayüz kısmında yapılacak çalışmaları, programın üst kısmında yer alan menüden kullanıcı tarafından seçebilir (1).

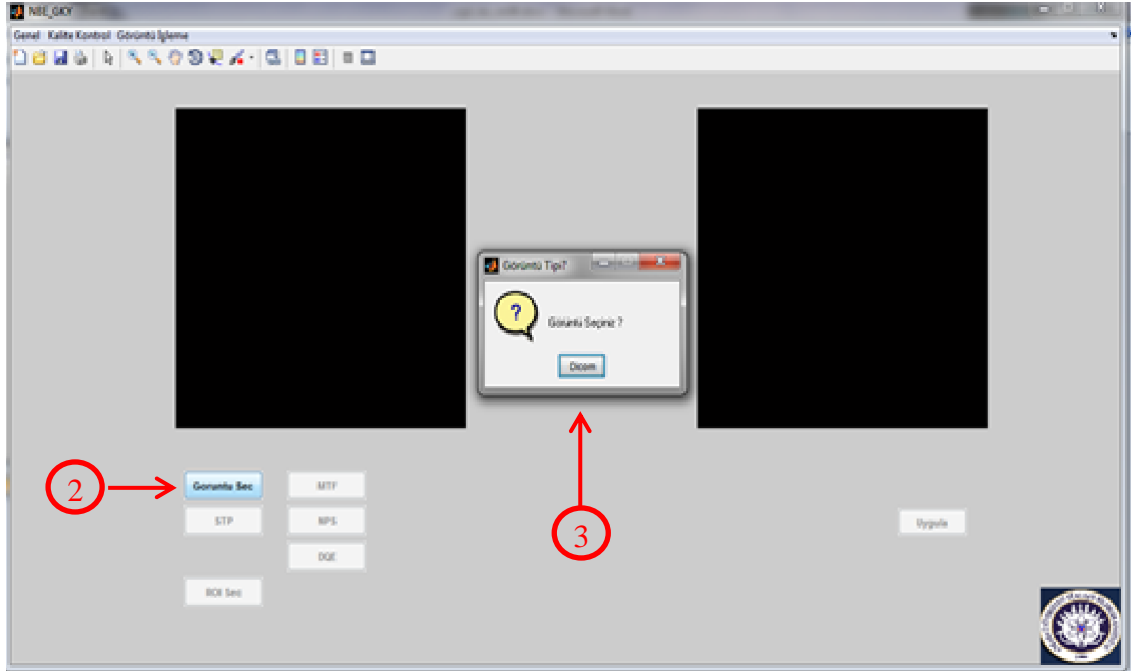
Kalite kontrol arayüzü kısmında görüntüleme sistemlerinin görüntü kalite testlerinin sayısal olarak yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma yapılırken tasarlanan arayüz kullanıcının kolay ve hızlı şekilde işlemlerin yapılabilmesini ve uygulamaların kullanımı esnasında çeşitli uyarılar sayesinde kullanıcının işlemlerinin doğru şekilde yapılabilmesini amaçlamaktadır. Aşağıda menüden kalite kontrol giriş kısmına, giriş yapılarak arayüzün kalite kontrol giriş kısmı görüntülenebilir.



2.1 Görüntü Yükleme

Görüntü kalite testlerinin sayısal olarak belirlemede ilk olarak ilgili görüntü seçilmelidir. Görüntüyü seçmek için *Görüntü Seç* tuşu kullanılır (2). Seçilmek istenen görüntü bu arayüz kısmı için dicom görüntüsü olmalıdır. Bu tuşu çalıştırmak istediğimizde ekranda bilgi mesajıyla seçilen görüntünün dicom formatlı olması istenir (3).Görüntü seçildikten sonra arayüzün ilgili kısmında (axes) görüntülenebilir.

Görüntü yükleme tuşunun seçimiyle ekranda bilgi mesajı çıkmakta ve arayüzün tasarımı sayesinde istenilen görüntüyü tekrar tekrar seçme özelliği kullanılarak görüntüler seçilebilmektedir. Bilgi mesajını kapatma durumunda ise ekrana uyarı mesajı gelmektedir.

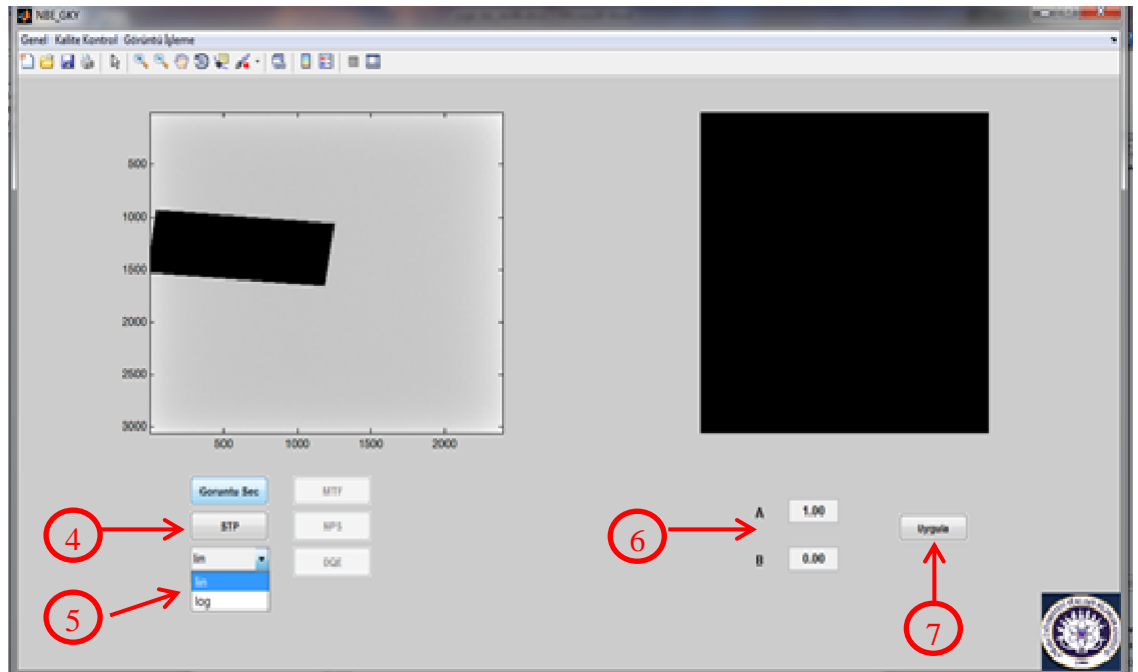


2.2 Sinyal Transfer Fonksiyonu (STP) Düzeltmesi

İlgili görüntünün seçilmesi işleminden sonra hem modülasyon transfer fonksiyonu hesabı hem de gürültü güç dağılımı hesabını yapmadan önce sinyal transfer fonksiyonu (STP) düzeltmesi yapılmalıdır. Bu durum için STP tuşu kullanılmalıdır (4).

Bu düzeltme işlemini yapmadan seçilen görüntüden sonra görüntünün doğrusal ya da logaritmik davranışına göre arayüzde doğrusal ($PV = A+BQ$) veya logaritmik ($PV = A+B\ln(Q)$) seçim yapılıp (5), ilgili alana değerler girilmelidir (6).

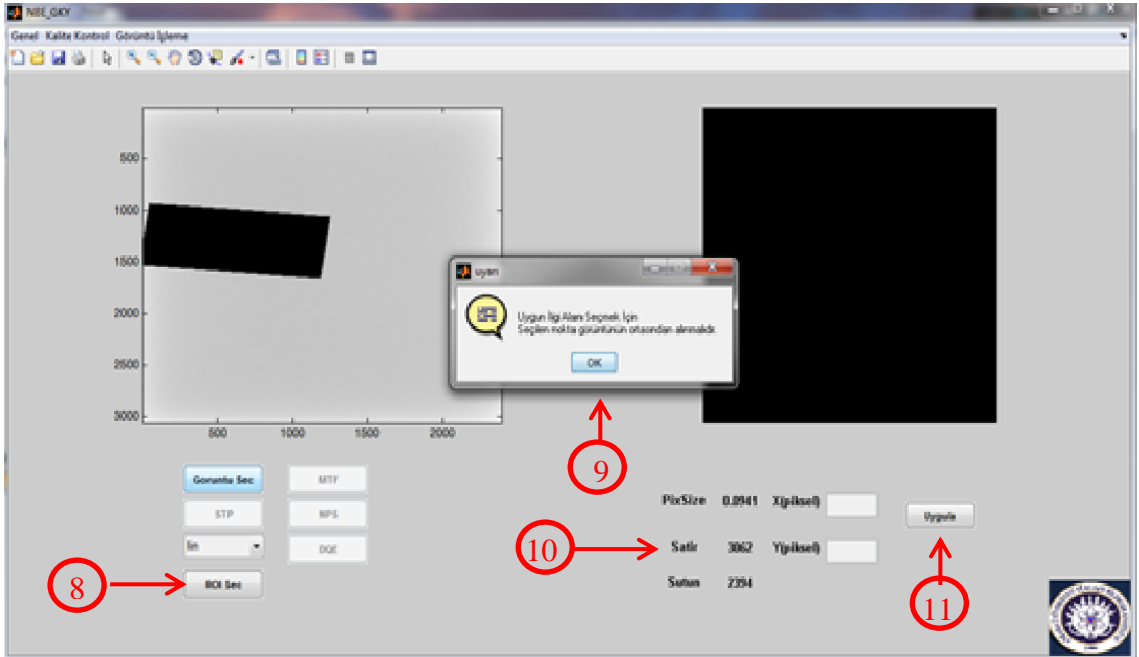
Bu tuşu çalıştırmak istediğimizde doğrusal ve logaritmik olarak ilgili denklemler uyarı mesajı olarak karşımıza çıkmaktadır. İlgili denklemlere uygun A, B değerleri girilmelidir. Eğer bu değerler girilmeden işlemlere devam etmek istenirse varsayılan değerlerle (default) bu düzeltme işlemi yapılabilir (6). Bütün bu işlemlerden sonra Uygula tuşu ile istenilen işlem yapılmış olur (7).



2.3 İlgi Alanların Seçilmesi (ROI)

İlk olarak *ROI Seç* tuşu (8) kullanılarak seçilmiş görüntüde, istenilen ilgi alanıyla çalışmak için görüntünün istenilen bölgesi seçilip (görüntülerin orta noktasından bir bölge seçilmesi tavsiye edilir (9)) görüntünün son hali elde edilebilir. Bu tuş kullanılarak ilgili görüntünün piksel boyut değeri ve görüntünün satır ve sütun değerleri ekranda görüntülenir (10).

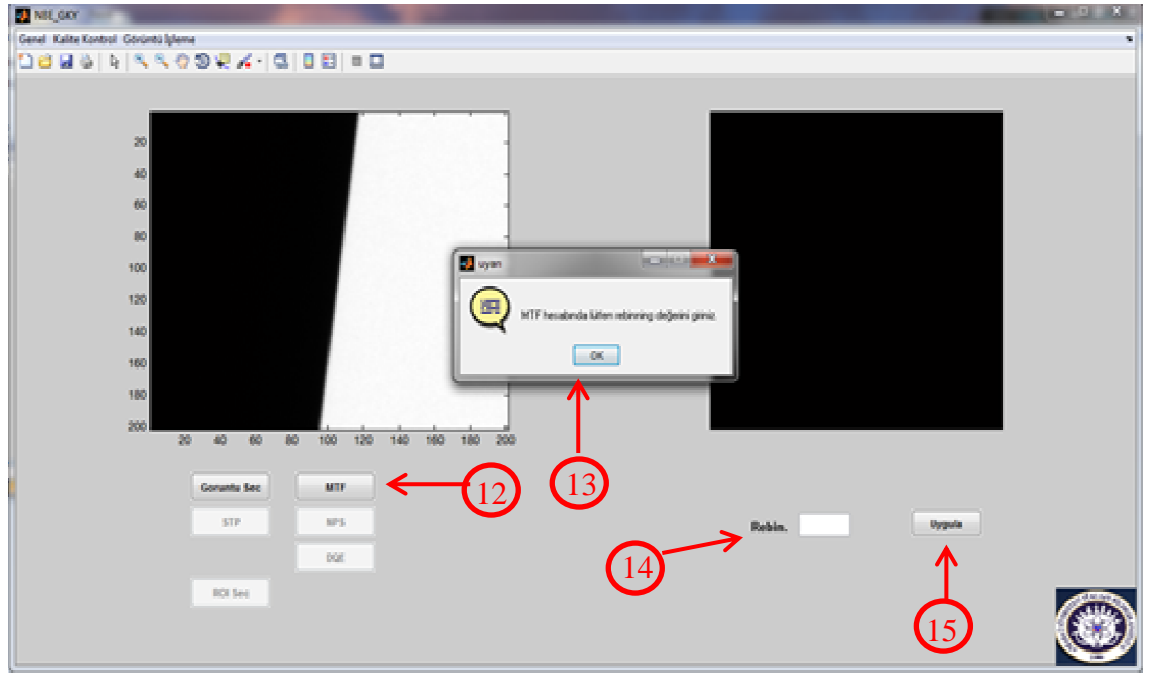
İstenilen ilgi alanını oluşturmak için şekilde görünen X (x yönündeki piksel sayısı) ve Y(y yönündeki piksel sayısı) piksel değerleri girilmelidir.(10) Bu işlemler yapılırken arayüzde görüntülenen piksel boyut ve matris boyutları dikkate alınmalıdır. İlgi alanı seçimi *MTF* ve *NPS* hesaplamalarından önce seçilmelidir. Bütün bu işlemlerden sonra *Uygula* tuşu ile görüntüden istenilen bölge seçilmiş olur (11).



2.4 Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) Hesaplanması

Modülasyon transfer fonksiyonu işleminde, önceki bölümdeki basamaklar tamamlanarak elde edilmiş görüntü (modülasyon transfer fonksiyonu için kenar görüntü) *MTF* tuşu sayesinde (12) üzerinden ince grüplama (*rebinning*) (14) değeri girilmesi koşuluyla modülasyon transfer fonksiyonu hesaplanmaktadır.(seçilen ince grüplama (*rebinning*) değerinin 1'den az olması tavsiye edilir.) (Denklem 3-17) Bu durumla ilgili uyarı bu tuşu seçtiğimizde bilgi mesajı olarak ekranda çıkmaktadır (13).

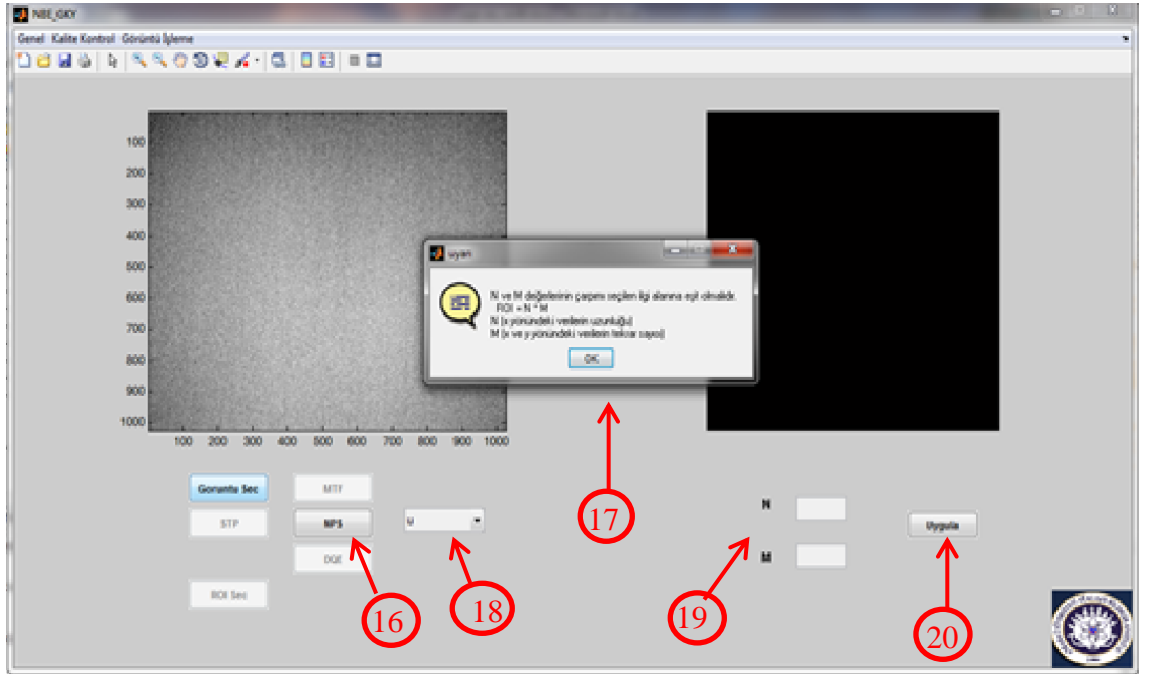
Bütün bu işlemlerden sonra *Uygula* tuşu ile istenilen işlem yapılmış olur (15). Bu hesaplama yapıldıktan sonra seçilen kenar görüntünün kenar açısı da arayüzde işlemler bitiminde görülmektedir.



2.5 Gürültü Güç Dağılımı (NPS) Hesaplanması

Gürültü güç dağılımı işleminde, modülasyon transfer fonksiyonu hesabındaki gibi ilk olarak görüntü seçilmeli daha sonra *STP* düzeltmesi yapılmalıdır. Bu işlemin için *NPS* tuşu (16) kullanılmalıdır. Bu aşamalardan oluşan görüntüye (gürültü güç dağılımı için homojen görüntü) seçilen ilgi alanına uygun ($ROI = N \times M$) N (yatay ve dikey yöndeki piksel sayısı) ve M (*NPS* hesabının kaç tane ilgi alanından hesaplandığı belirtir.) değerleri girilerek (19) girilmesi gerekmektedir (Denklemler 3-18). *DQE* hesaplanmasında, kullanılan N , M ($ROI = N \times M$) değerlerinin uygun bir şekilde seçilmesi gerekmektedir.

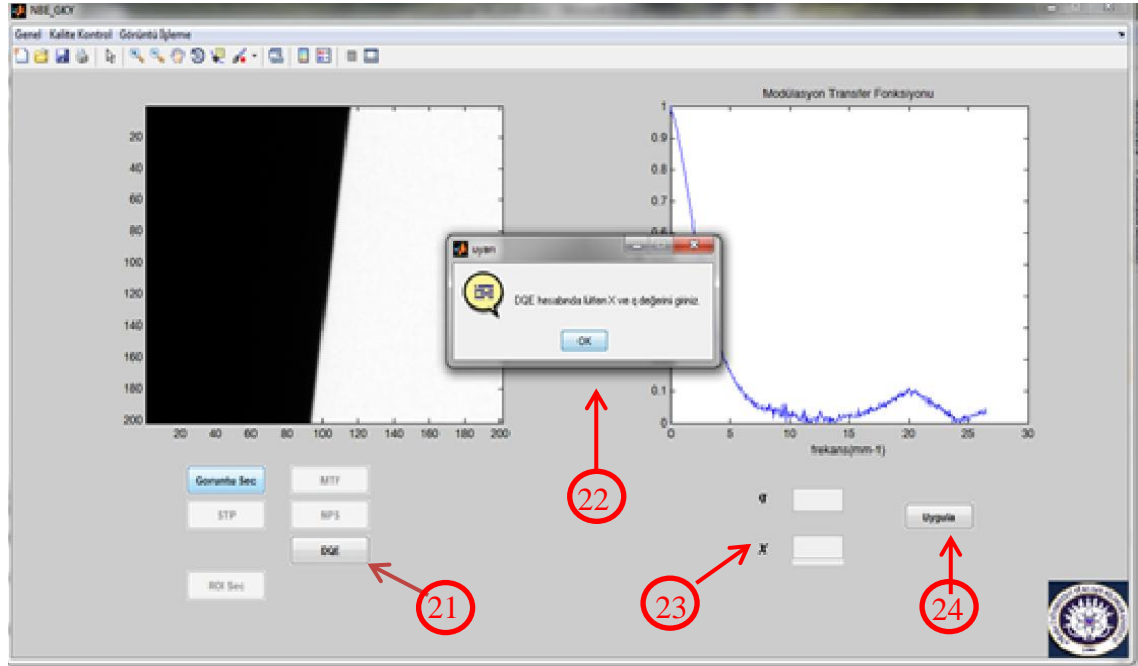
Yukarıdaki işlem yapıldıktan sonra, istenilen yönde u veya v yönlerinde seçim yapılarak (18) gürültü güç dağılımı hesaplanabilmektedir. Bu tuşu çalıştırmak istediğimizde, yukarıda anlatılanlar ilgili bilgi mesajı ilk olarak ekranda çıkmaktadır (17). Bütün bu işlemlerden sonra *Uygula* tuşu ile istenilen işlem yapılmış olur (20).



2.6 Dedeksiyon Kuantum Etkinliği (DQE) Hesaplanması

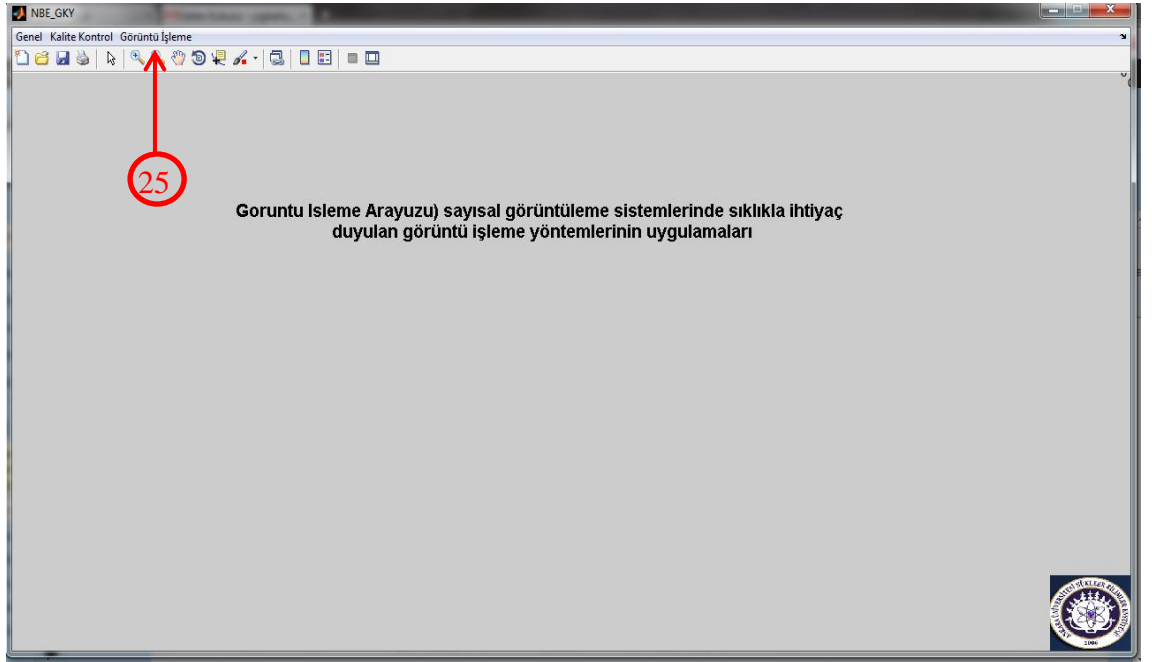
Yukarıdaki işlemlerle yapılarak modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü güç dağılımını hesaplandıktan sonra ve dedeksiyon kuantum etkinliği hesabı için gerekli olan ilk olarak DQE tuşu kullanılır. Daha sonrasında da q (birim alan başına ve birim ışınlama başına dedektör girişindeki foton sayısı) ve X (NPS ölçüldüğü ışınlama dozu) değerleri (23) girilerek gerekli hesaplamalar yapılabilmektedir (Denklem 3-19).

Bu tuş çalıştırılmak istendiğinde q ve X değerleri girilmesiyle ilgili uyarı mesajı ekranda görünmektedir.(22) İşlemin yapılabilmesi için, hem modülasyon transfer fonksiyonun hem de gürültü güç dağılımının, dedeksiyon kuantum etkinliği hesabından önce yapılması gerekmektedir. Bütün bu işlemlerden sonra Uygula tuşu ile istenilen işlem yapılmış olur (24).



3.GÖRÜNTÜ İŞLEME ARAYÜZÜ

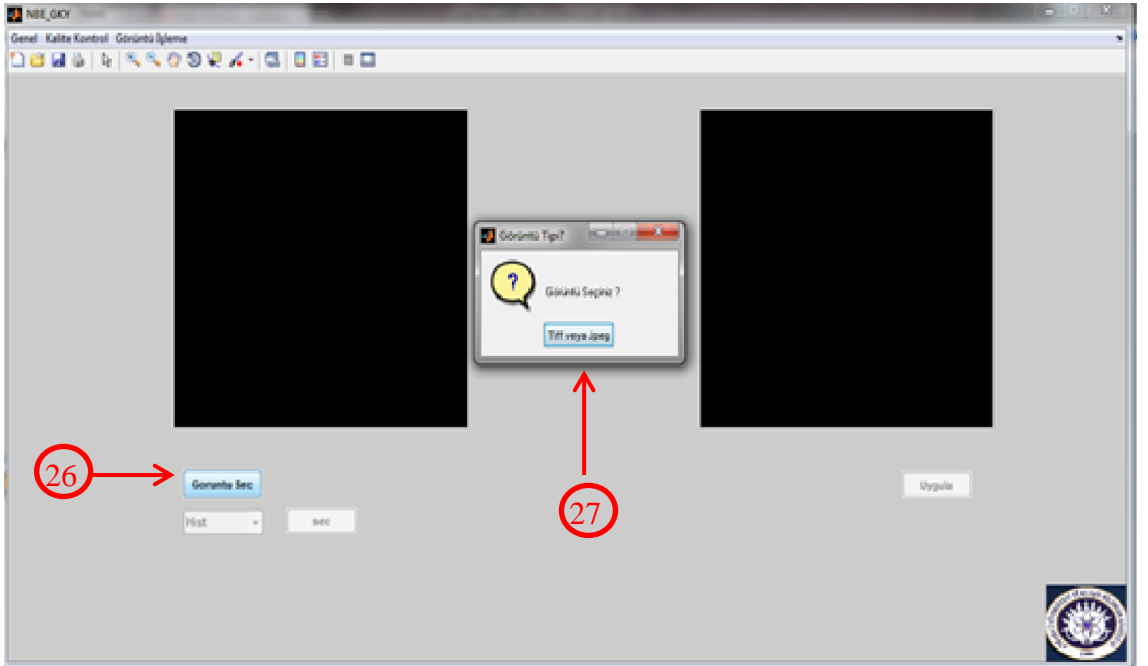
Bu bölümde kullanıcının iki seçeneği mevcuttur. Bunlardan ilki görüntü işleme giriş diğeri ise uygulama kısmıdır. Görüntü işleme arayüz kısmında yapılacak çalışmaları, programın üst kısmında yer alan menüden kullanıcı tarafından seçebilir (25). Görüntü işleme kısmında ilk olarak görüntü işleme giriş kısmı seçilerek aşağıdaki sayfa görüntülenebilir.



3.1 Görüntü Yükleme

Görüntü İşleme arayüzünde ilk olarak ilgili görüntüyü seçilmelidir. Bu işlemi *Görüntü Seç* tuşuyla (26) yapılmalıdır. Seçilmek istenen görüntü bu arayüz kısmı için farklı (.dcm, .tif, .tiff, .jpg, .jpeg) uzantılı bir görüntüler seçilebilir. Görüntü seçildikten sonra arayüzün ilgili kısmında (*axes*) görüntülenebilir (27).

Görüntü yükleme tuşunun seçimiyle ekranda bilgi mesajı çıkmakta (27) ve arayüzün tasarımı sayesinde istenilen görüntüyü tekrar seçme özelliği kullanılarak görüntüler seçilebilmektedir. Bilgi mesajını kapatma durumunda ise ekrana uyarı mesajı gelmektedir.



3.2 Görüntü İşleme Uygulamaları

Görüntü işleme uygulamalarında istenilen görüntü seçilerek uygulanması istenilen işlem *açılır menü* yardımıyla (28) istenilen uygulama *seç* tuşuyla (29) seçilir. Daha sonra seçilen işlem *uygula* tuşuna basılarak yapılabilir. İşlenmiş kısımda yapılan işlemin son hali arayüzde gösterilir.

Görüntü işleme uygulamalarında, *açılır menü* kısmına giriş yapılarak, istenilen işlemler kullanıcının isteğine bağlı olarak seçilebilir. Bunlar, histogram, ilgi alanı seçimi, Laplacian filtre, unsharpfiltre, Prewitt filtre, Gaussian filtre, Medyan (median) filtre, Ortalama (Average) filtre'dir (28).

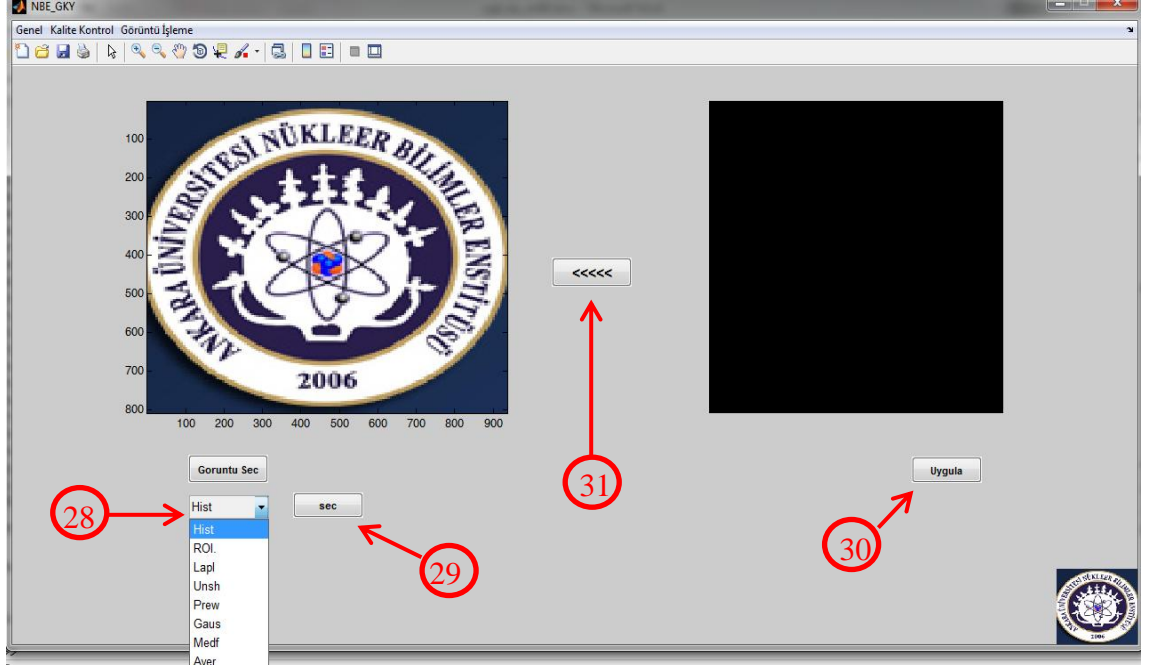
Histogram komutu seçilerek, görüntünün histogram grafiği ekranda görüntülenebilir *ROI* seçiminde seçilen ilgili bölgenin ortalama piksel hesabı ve standart sapması değerleri işlem yapıldıktan sonra ekranda görüntülenebilir. *Laplacian* filtresi seçildikten sonra filtrenin şeklini kontrol eden alpha değeri arayüzde girilerek bu filtre çalıştırılabilir (alpha değeri için istenen aralık 0-1 olmalıdır).

Unsharp filtesi seçildikten sonra filtrenin şeklini kontrol eden alpha değeri arayüzde girilerek bu filtre çalıştırılabilir. Prewitt filtre için arayüzde bir giriş değeri yoktur ve arayüzde bu filtre direkt olarak çalıştırılabilir. Gaussian filtresinde ise standart sapma değerini için sigma değeri arayüzden girilerek ve de matris değer parametresi seçilerek bu işlem yapılabilir. (sigma değeri için istenen aralık 0-1 olmalıdır.)

Medyan (Median) filtre kullanımında ise bir giriş değeri yoktur böylelikle filtre doğrudan olarak çalıştırılabilir. Ortalama (Average) filtre seçilip matris parametre girişi arayüzde girilerek filtre çalıştırılabilir.

Bu uygulamalara ait özel veri girişleri mevcuttur. Ayrıca bu uygulamalar seçildikten sonra çeşitli bilgi mesajları ve uyarılar sayesinde kullanıcıya işlemler üzerinde çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Bütün bu işlemlerden sonra *Uygula* tuşu ile istenilen işlem yapılmış olur (30).

Görüntü işleme arayüzünde, istenen görüntü seçilip işlem yapıldıktan sonra oluşan yeni görüntü *Aktar* tuşuyla (31) tekrardan üzerinde çeşitli işlemler yapılabilmesi için kullanılabilir. Bu durum, yapılan işlemi kaybetmemek ve yapılan işlem üzerine istenilen uygulamaları yapabilmeyi sağlamaktadır



ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Adapazarı'nda dünyaya geldi. İlkokulu Sakarya Atatürk İlkokulunda, ortaokul ve liseyi Sakarya Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında girdiği Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğretimine başladı.