

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
NÜKLEER BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TANISAL RADYOLOJİDE KULLANILAN PANEL DEDEKTÖRLERDE
GÜRÜLTÜ ANALİZİ**

LUTFİ ERGÜN

**MEDİKAL FİZİK ANABİLİM DALI
SAĞLIK FİZİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

ANKARA

2015

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Lutfi ERGÜN tarafından hazırlanan “Tanısal Radyolojide Kullanılan Panel Dedektörlerde Gürültü Analizi” adlı tez çalışması 24/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Medikal Fizik Anabilim Dalı/Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programında Sağlık Fiziği **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : *Doç. Dr. Turan OLGAR*

Jüri Üyeleri :

Başkan : *Yard. Doç. Dr. Gökçe Kaan ATAÇ*

Ufuk Hastanesi Radyoloji Bölümü



İmza

Üye : *Doç. Dr. Turan OLGAR*

Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı



İmza

Üye : *Yard. Doç. Dr. Özlem BİRGÜL*

Ankara Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı



İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç.Dr.Niyazi MERİÇ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TANISAL RADYOLOJİDE KULLANILAN PANEL DEDEKTÖRLERDE GÜRÜLTÜ ANALİZİ

Lutfi ERGÜN

Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Medikal Fizik Anabilim Dalı

Sağlık Fiziği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Doç. Dr. Turan OLGAR

Dijital radyografik görüntüde kontrast dijital görüntü elde edildikten sonra monitörde görüntüleme aşamasında ayarlanabildiğinden, bir objenin algılanabilirliğine en temel sınırlamayı sinyal gürültü oranı (Signal-to-Noise Ratio, SNR) getirir. Bu nedenle medikal görüntüleme gürültünün karakterizasyonu sistem performansının değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar. Bu tez çalışmasında gürültü ölçümleri, hem uzaysal hem de frekans ortamında üç tane dijital radyografi, bir dijital floroskopi ve bir dijital mamografi sistemi için gerçekleştirilmiştir. Uzaysal ortamdaki gürültü değerlendirmesi, hem standart sapma-dedektör girişindeki hava kerma değeri (Detector Air Kerma, DAK) hem de bağlı gürültü-DAK ilişkisi değerlendirme metodu ile yapılmıştır. Uzaysal ortamdaki değerlendirme gürültünün karakteri hakkında bilgi verirken frekansı ile ilgili bir bilgi vermediğinden, gürültünün frekans ortamındaki temsili gürültü güç spektrumu (Noise power spectra, NPS) aracılığıyla yapılmıştır. İncelenen beş sistem, klinikte çalışılan dedektör dozlarında kuantum gürültü sınırlı çıkmıştır. Düşük dedektör dozlarında, dedektörlerdeki baskın gürültünün elektronik karakterli, yüksek dedektör dozlarında ise yapısal karakterli olduğu görülmüştür. Sistemlerde grid kullanımının yapısal gürültü bileşenini arttırdığı, fakat artan grid frekansı ile bu bileşende azalma gözlenmiştir. Ayrıca, karanlık gürültü ve kazanç kalibrasyonları dedektördeki yapısal gürültü bileşenini azaltmıştır.

2015, 126 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Gürültü, Kuantum Gürültü, Varyans, Sinyal Gürültü Oranı, Wiener Spektrum

ABSTRACT

Masters Thesis

NOISE ANALYSIS IN FLAT PANEL DETECTORS USED IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Lutfi ERGÜN

Ankara University Institute of Nuclear Sciences

Department of Medical Physics, Health Physics Masters Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Turan OLĞAR

The signal-to-noise ratio puts the fundamental limitation to object perceptibility in a digital radiograph because image contrast can be manipulated during the display of digitally acquired radiographic images on monitor. Therefore, noise characterization plays an important role in the evaluation of system performance in medical imaging. In this thesis, noise measurement is carried out both in spatial and frequency domain for three digital radiography systems, one digital fluoroscopy system and one digital mammography system. Noise evaluation in spatial domain is done by standard deviation-detector air kerma (DAK) and relative standard deviation-DAK relationship evaluation methods. Because the noise characterization in spatial domain gives information about noise type but it doesn't give information about noise frequency, noise evaluation in frequency domain is carried out by means of Noise Power Spectrum (NPS) measurement. Evaluated five systems behave as a quantum noise limited for clinically used detector doses. The observed dominant noise component at lower detector doses has electronic character whereas structured noise was observed as the dominant component at higher detector doses. Using grid in these systems increased the structured noise component but this component is decreased with increased grid frequency. Furthermore, the structured noise component is decreased with gain and offset corrections.

2015, 126 Pages

Key Words : Noise , Quantum Noise, Variance, Signal Noise Ratio, Wiener Spectrum

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımnda araőtırmalarımaya ışık tutan, beni yönlendiren ve bana yardım eden danışman hocam sayın Doç. Dr. Turan OLĖAR'a, tezimin her aşamasında bilgi ve önerilerini esirgemeyen sayın Prof.Dr. Mehmet Doğan BOR ve sayın Yard. Doç. Dr. Özlüm BİRGÖL'e, yardımlarından dolayı çalışma arkadaşlarım Aziz Rasim YUSUF, Ahmet GÖVEN, Betöl YAMAN ve diğer tüm çalışma ve iç arkadaşlarıma, en önemlisi de çalıőmalarım boyunca varlıklarını ve desteklerini esirgemeyen aileme gösterdikleri sabır için sonsuz teőekkürler.

Bu tez kısmi olarak TÜBİTAK 112T965 numaralı proje tarafından desteklenmektedir.

Lutfi ERGÖN

Ankara, Temmuz 2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	2
2.1 Dijital Radyoloji Sistemleri.....	2
2.1.1 Yüke bağlı sistemler (CCD, Charge coupled devices)	3
2.1.2 Fosfor tabakası kullanan dijital dedektörler (Bilgisayarlı radyografi, CR).....	4
2.1.3 Panel dedektörler	6
2.1.3.1 Doğrudan dönüşümlü panel dedektörler	6
2.1.3.2 Dolaylı dönüşümlü panel dedektörler	8
2.2 Otomatik Işınlama Kontrol(AEC, Automatic Exposure Control) Sistemi.....	10
2.3 Dijital Radyolojide Kullanılan Gridler	10
2.3.1 Grid özellikleri	11
2.3.1.1 Grid oranı(r)	11
2.3.1.2 Grid frekansı(f).....	12
2.3.1.3 Grid deseni	12
2.4 Panel Dedektör Kalibrasyonları.....	14
2.4.1 Kazanç (Gain) kalibrasyonu	14
2.4.2 Offset kalibrasyonu.....	14
2.4.3 Kusurlu piksel kalibrasyonu	15
2.5 X-ışın Kalitesi ve Kantitesi.....	15
2.6 Heel Etkisi ve Filtrasyon	16

2.6.1	Heel etkisi.....	16
2.6.2	Filtrasyon	17
2.6.3	HVL (Yarı değer kalınlığı).....	17
2.6.4	IEC 61627’de tanımlı RQA x-ışın demet kalitesi	17
2.7	Görüntü Kalitesi Parametreleri.....	19
2.7.1	Uzaysal ayırma gücü.....	19
2.7.2	Kontrast	21
2.7.3	Gürültü.....	21
2.7.3.1	Gürültü kaynakları	22
2.7.4	Sinyal gürültü oranı(Signal to noise ratio, SNR)	24
2.7.5	Hayalet görüntü	25
2.7.6	Sinyal transfer fonksiyonu(STP)	26
2.7.7	Modülasyon transfer fonksiyonu(MTF)	27
2.7.8	Gürültü güç dağılımı(NPS)	28
2.7.9	Dedeksiyon kuantum etkinliği(DQE).....	29
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1	Ölçümlerde Kullanılan X-ışın Sistemleri.....	31
3.2	Doz Ölçümlerinde Kullanılan Dedektörler	33
3.3	Gürültü Analizi İçin Görüntülerin Alınması ve Kullanılan Filtreler	33
3.4	STP Ölçümü ve Görüntülerin Doğrusallaştırılması	34
3.5	Gürültü Kaynaklarının Belirlenmesi	34
3.6	Normalize Gürültü Güç Spektrumunun Hesaplanması(NNPS).....	36
3.7	Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrisinde Gürültü Bileşenlerinin İncelenmesi.....	36
3.8	Farklı Grid Özelliklerin Gürültü Üzerindeki Etkisi.....	37
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	38
4.1	Standart Sapma –DAK Grafikleri Sonuçları	38

4.2	Kesirsel Varyans-DAK Grafikleri Sonuçları	44
4.3	Bağıl Gürültü(RSD) – DAK eğrileri Grafikleri Sonuçları.....	55
4.4	Normalize Gürültü Güç Dağılımı (NNPS).....	62
4.5	Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrisinde Gürültü Bileşenlerinin Davramışının İncelendiği Sonuçlar	72
4.6	Farklı Grid Özelliklerinin Gürültü Üzerinde Etkisinin Sonuçları	89
5.	TARTIŞMA.....	92
5.1	Standart Sapma – DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi	92
5.2	Kesirsel Varyans-DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi.....	97
5.3	Bağıl Gürültü(RSD)–DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi.....	106
5.4	Normalize Gürültü Güç Dağılımlarının(NNPS) Değerlendirilmesi.....	112
5.5	Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrilerinde Gürültü Bileşenlerinin Değerlendirilmesi.....	118
5.6	Farklı Grid Özelliklerinin Gürültü Üzerinde Etkisinin Değerlendirilmesi	
	121	
6.	SONUÇ.....	122
	KAYNAKLAR	124
	ÖZGEÇMİŞ.....	126

SİMGELER DİZİNİ

DQE	Dedeksiyon kuantum etkinliği
SNR	Sinyal gürültü oranı
RSD	Bağıl gürültü(Rölatif Standart Sapma)
STD	Standart sapma
MTF	Modülasyon transfer fonksiyonu
NPS	Gürültü güç dağılımı
NNPS	Normalize Gürültü güç dağılımı
STP	Sinyal transfer fonksiyonu
DAK	Dedektör Hava Kerma
AK	Hava Kerma
AEC	Otomatik Işınlama Kontrolü
ROI	İlgi Alanı
GTF	Grid Geçirim Faktörü
N_x	x- yönündeki piksel sayısı
N_y	y- yönündeki piksel sayısı
M	İlgi alan sayısı
f	Uzaysal frekans
q	Birim alan ve ışınlama başına dedektöre gelen foton sayısı
X	Işınlama değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Film-ekran ve dijital sistem dinamik aralıkları.....	2
Şekil 2.2 Değişen doz aralığında film-ekran ve dijital sistem için gri seviye farklılıkları.	3
Şekil 2.3 Yüke bağlı sistemlerde piksellerdeki yükün toplanması (Bor, 2002).....	4
Şekil 2.4 BaFX:Eu ⁺² enerji bant yapısı (Seçil, 2002)	5
Şekil 2.5. Doğrudan dönüşümlü panel dedektör yapısı(Olğar 2013).....	6
Şekil 2.6 Panel dedektörlerdeki TFT'lerde sinyal okuma mekanizması.....	7
Şekil 2.7 Dolaylı dönüşümlü panel dedektör yapısı (Spahn, 2005).	8
Şekil 2.8 CsI, Gd ₂ O ₂ S ve a-Se kristallerinin tipik soğurum özellikleri (Spahn, 2005).....	9
Şekil 2.9 Grid iç tasarımı	12
Şekil 2.10 Paralel, odaklı ve çapraz grid tasarımı	13
Şekil 2.11 Heel etkisinin oluşumu	16
Şekil 2.12 Radyolojide kullanılan farklı görüntü alıcılara ait nokta dağılım fonksiyonları(Bor, 2002).....	20
Şekil 2.13 Yarı gölge oluşumu (Bor, 2002)	20
Şekil 2.14 Aynı objenin farklı gürültü özelliğine sahip 3 izometrik görüntüsü (Bushberg, 2002)	22
Şekil 2.15 Kuantum gürültüsünün foton sayısına bağlı olarak değişimi	23
Şekil 2.16 Artan SNR'nin kontrasta etkisi (www.dspsguide.com)	25
Şekil 2.17 Farklı sistemlere ait örnek MTF eğrileri(Bor, 2002)	27
Şekil 2.18 İlintili ve ilintisiz gürültü güç dağılımları.....	28
Şekil 2.19 Örnek bir DQE eğrisi	30
Şekil 4.1 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.....	38
Şekil 4.2 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli(f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.	38
Şekil 4.3 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonu yapılmış STD-DAK eğrisi.....	39
Şekil 4.4 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	39

Şekil 4.5 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) STD-DAK eğrisi.....	39
Şekil 4.6 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	40
Şekil 4.7 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36 lp/cm) STD-DAK eğrisi.....	40
Şekil 4.8 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	40
Şekil 4.9 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31 lp/cm) STD-DAK eğrisi.	41
Şekil 4.10 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.....	41
Şekil 4.11 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.	41
Şekil 4.12. PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonu yapılmış STD-DAK eğrisi.....	42
Şekil 4.13. DRX-1C sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	42
Şekil 4.14 DRX-1C sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	43
Şekil 4.15 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	43
Şekil 4.16 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridli (f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.....	43
Şekil 4.17 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış kazanç ve offset kalibrasyonlu STD-DAK eğrisi.	44
Şekil 4.18 DRX-1C sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.	44
Şekil 4.19 DRX-1C sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	45
Şekil 4.20 DRX-1C sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	45

Şekil 4.21 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	46
Şekil 4.22 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli($f=60lp/cm$) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	46
Şekil 4.23 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	46
Şekil 4.24 DRX-1C sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	47
Şekil 4.25 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	47
Şekil 4.26 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	47
Şekil 4.27 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	48
Şekil 4.28 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli	48
Şekil 4.29 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	48
Şekil 4.30 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	49
Şekil 4.31 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	49
Şekil 4.32 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	49
Şekil 4.33 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=36lp/cm$) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	50
Şekil 4.34 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	50
Şekil 4.35 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M1 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	51
Şekil 4.36 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M2 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	51

Şekil 4.37 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	51
Şekil 4.38 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (31 lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	52
Şekil 4.39 PaxScan sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	52
Şekil 4.40 PaxScan sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	52
Şekil 4.41 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	53
Şekil 4.42 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.	53
Şekil 4.43 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	53
Şekil 4.44 PaxScan sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.....	54
Şekil 4.45 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.....	56
Şekil 4.46 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) RSD-DAK eğrisi.	56
Şekil 4.47 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu RSD-DAK eğrisi.	57
Şekil 4.48 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.	57
Şekil 4.49 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) RSD-DAK eğrisi.....	57
Şekil 4.50 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.	58
Şekil 4.51 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli.....	58
Şekil 4.52 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.	58

Şekil 4.53 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31 lp/cm) RSD-DAK eğrisi.	59
Şekil 4.54 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.	59
Şekil 4.55 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) RSD-DAK eğrisi.	59
Şekil 4.56 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu RSD-DAK eğrisi.	60
Şekil 4.57 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPS sonuçları.	62
Şekil 4.58 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	62
Şekil 4.59 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) yatay yöndeki NNPS sonuçları.	63
Şekil 4.60 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	63
Şekil 4.61 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPS sonuçları.	63
Şekil 4.62 DRX1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	64
Şekil 4.63 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.	64
Şekil 4.64 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	64
Şekil 4.65 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.	65
Şekil 4.66 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	65
Şekil 4.67 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.	65
Şekil 4.68 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	66

Şekil 4.69 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.....	66
Şekil 4.70 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36lp/cm) dikey yöndeki NNSxDoz sonuçları.	66
Şekil 4.71 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.	67
Şekil 4.72 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.....	67
Şekil 4.73 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.	67
Şekil 4.74 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31lp/cm) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.....	68
Şekil 4.75 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPS sonuçları.....	68
Şekil 4.76 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	69
Şekil 4.77 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.....	69
Şekil 4.78 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	69
Şekil 4.79 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) yatay yöndeki NNPS sonuçları.	70
Şekil 4.80 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.....	70
Şekil 4.81 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.	70
Şekil 4.82 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.	71
Şekil 4.83 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPS sonuçları.....	71
Şekil 4.84 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.....	71

Şekil 4.85 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu dikey yöndeki NNPS sonuçları.	72
Şekil 4.86 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.....	72
Şekil 4.87 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekans değerinde farklı gürültü kaynaklarının davranışı.	73
Şekil 4.88 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	73
Şekil 4.89 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	73
Şekil 4.90 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	74
Şekil 4.91 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	74
Şekil 4.92 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 -DAK grafiği.....	74
Şekil 4.93 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	75
Şekil 4.94 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı	75
Şekil 4.95 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1.29 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı	75
Şekil 4.96 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı	76
Şekil 4.97 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı	76
Şekil 4.98 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı	76
Şekil 4.99 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 - DAK grafiği. .	77
Şekil 4.100 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60 \text{ lp/cm}$) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	77

Şekil 4.101 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	78
Şekil 4.102 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	78
Şekil 4.103 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	79
Şekil 4.104 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	79
Şekil 4.105 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.	79
Şekil 4.106 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 -DAK grafiği. ...	80
Şekil 4.107 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	80
Şekil 4.108 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı. ...	80
Şekil 4.109 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.	81
Şekil 4.110 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.	81
Şekil 4.111 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.	81
Şekil 4.112 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı. ...	82
Şekil 4.113 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 - DAK grafiği.	82
Şekil 4.114 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	82
Şekil 4.115 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.	83

Şekil 4.116 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	83
Şekil 4.117 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	84
Şekil 4.118 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	84
Şekil 4.119 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.....	85
Şekil 4.120 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD ² /PV ² -DAK grafiği.	85
Şekil 4.121. PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	85
Şekil 4.122 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	86
Şekil 4.123 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	86
Şekil 4.124 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	87
Şekil 4.125 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm ⁻¹ frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı. ...	87
Şekil 4.126 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.	88
Şekil 4.127 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD ² /PV ² - DAK grafiği. .	88
Şekil 4.128 PaxScan sisteminde gridli (f=60lp/cm) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayıların histogram şeklinde gösterimi.	88
Şekil 4.129 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.	89
Şekil 4.130 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.	89

Şekil 4.131 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen üstel katsayılar.	90
Şekil 4.132 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen üstel katsayılar.	90
Şekil 4.133 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen RSD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.	90
Şekil 4.134 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen RSD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 RQA X-ışın demet kaliteleri	18
Çizelge 2.2 RQA-M X-ışın demet kaliteleri	19
Çizelge 2.3 Bağlı gürültünün sayım ile azalması.....	24
Çizelge 3.1 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital radyoloji sistemleri	31
Çizelge 3.2 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital mamografi sistemi	32
Çizelge 3.3 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital floroskopi sistemi	32
Çizelge 3.4 Gridin gürültü üzerinde etkisinin incelenmesi için kullanılan gridlerin özellikleri.....	37
Çizelge 4.1 Gürültü analizinin yapıldığı sistemlerde demet kalitelerine göre STD-DAK katsayıları ve kuantum sınırlı çalışma doz aralığı verileri.	55
Çizelge 4.2 Gürültü analizinin yapıldığı sistemlerde demet kalitelerine göre RSD-DAK katsayıları ve kuantum sınırlı çalışma doz aralığı.....	61

1. GİRİŞ

Son yıllarda dijital radyolojinin önemi gittikçe artmaktadır. Bunda dijital radyolojide kullanılan geniş alan dedektörlerinin katkısı büyüktür. Geniş alan dedektörlerinde kullanılan teknoloji sayesinde gerek x-ışın dönüşüm etkinliği gerek kullanışlı sinyallerin daha iyi görüntü kalitesi sunması gibi nedenler bu tür dedektörlerin dijital radyolojideki önemini artırmıştır.

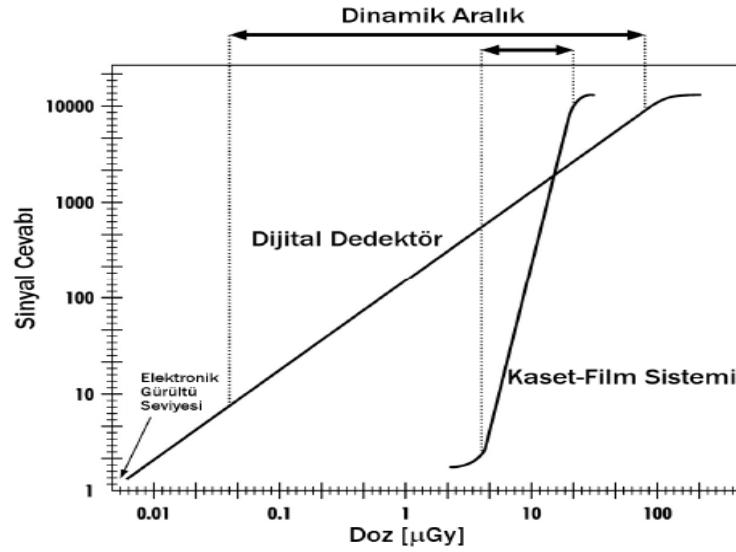
Bir görüntüleme sisteminde hasta dozunun minimum tutulmasının yanında optimum görüntü kalitesi sağlanması gerekir. Tanısal radyolojide görüntü kalitesi ve radyasyon dozu arasında doğrudan ilişki vardır. Hasta dozu düşük tutulduğunda, görüntü kalitesi gürültünün baskın hale gelmesiyle bozulmaya başlar. Gürültü, görüntüde başlıca kontrast ve keskinliği bozar. Bu tür bozulmalar da dijital görüntüde lezyon dedeksiyonunu zorlaştırır. Bu nedenle, görüntüleme yönteminde minimum gürültü istenir. Farklı frekanslarda bilgi içeren dijital görüntüdeki gürültü kaynakları ve bunların etkin olduğu doz aralığı bu nedenle önemlidir.

Dijital radyolojide gürültü kaynakları üç ana başlıkta incelenir. Bunlar; kuantum, yapısal ve elektronik bileşenlerdir. Gürültünün frekans uzayında analizi Wiener spektrumu ile gerçekleştirilmektedir. Wiener spektrumu gürültünün her frekanstaki değerini vermekle beraber, gürültünün bileşenleri hakkında bilgi vermemektedir. Bu çalışmada, gürültünün düşük doz aralığında etkin olan ve dozdan bağımsız olan elektronik gürültü mü, yoksa dedektördeki kazanç ayarlarındaki bozuklukların, heel etkisinin ve grid kullanımının neden olduğu ve genelde yüksek doz bölgesinde etkin olan doza bağımlı olan yapısal gürültüden mi kaynaklandığı araştırılacaktır. Ayrıca, her bir dedektör için gürültünün Poisson istatistiğine uyduğu, yani standart sapmanın kullanılan foton sayısının karekökü ile değiştiği doz aralığı belirlenecektir. Bu aralık, dedektörün kuantum sınırlı davrandığı bölge olarak kabul edilir. Bu çalışmada, geniş doz aralığında olası gürültü kaynakları belirlenecek olup, yapılan çalışma dedektörün kuantum sınırlı davranışlı optimum çalıştığı doz aralığının hesaplanması bakımından önem taşımaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Dijital Radyoloji Sistemleri

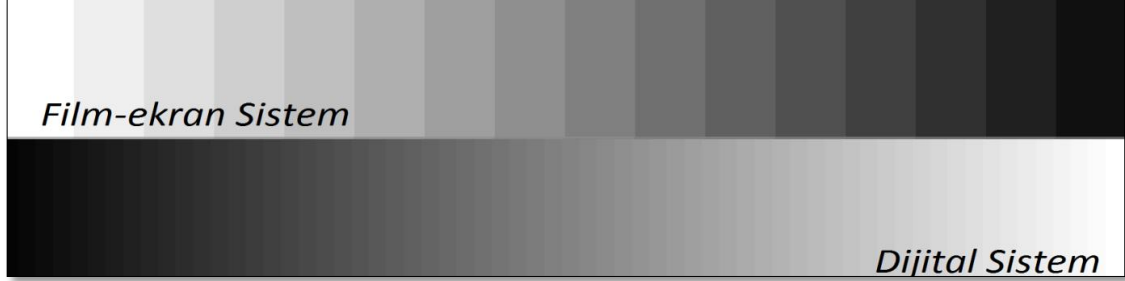
Dijital radyoloji görüntünün analog yerine sayısal olarak elde edilmesi, işlenmesi ve gösterimini ifade eder. Konvansiyonel görüntüleme sistemlerinden farklı olarak, film ve banyo solüsyonları gerektirmez. Bunun yerine, bir bilgisayar ekranında, anında görüntüyü oluşturan bir sensör ve bilgisayarlı görüntüleme sistemi kullanılır. Konvansiyonel sistemlerde filmlerden elde edilen görüntüler gümüş halojenür kristallerinin farklı boyut ve şekli sayesinde çok iyi uzaysal ayırma gücü (çözünürlük) sağlar. Ancak geniş ışınlama sınırlarında (geniş tolerans=latitude) reseptör olarak konvansiyonel filmler sınırlı kalmaktadır. Görüntü alıcısındaki geniş tolerans beklentisi dijital radyolojiye geçişi gerekli kılmıştır. DR sistemler Şekil 2.1’de gösterildiği gibi film-kaset ekrana göre geniş dinamik aralık sağlamaktadır. Dijital radyoloji görüntü üzerinde pencere, kontrast, histogram gibi ayarlara olanak sağlamaktadır.



Şekil 2.1 Film-ekran ve dijital sistem dinamik aralıkları.

Dijital radyolojide kullanılan görüntü alıcıların yüksek hassasiyeti sayesinde film-ekran sistemine göre düşük dozlarda görüntü elde edilebilir. Böylelikle hasta dozu düşürülmüş olur. Geniş dinamik aralığın sunduğu diğer avantaj ise değişen doz değerlerinde daha fazla gri seviye sağlayarak daha küçük kontrast farklılıklarını ayırt edilebilmesidir. Şekil

2.2’de gri renk spektrumunda, dijital sistemlerde gri seviye farklılıklarının daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 Değişen doz aralığında film-ekran ve dijital sistem için gri seviye farklılıkları.

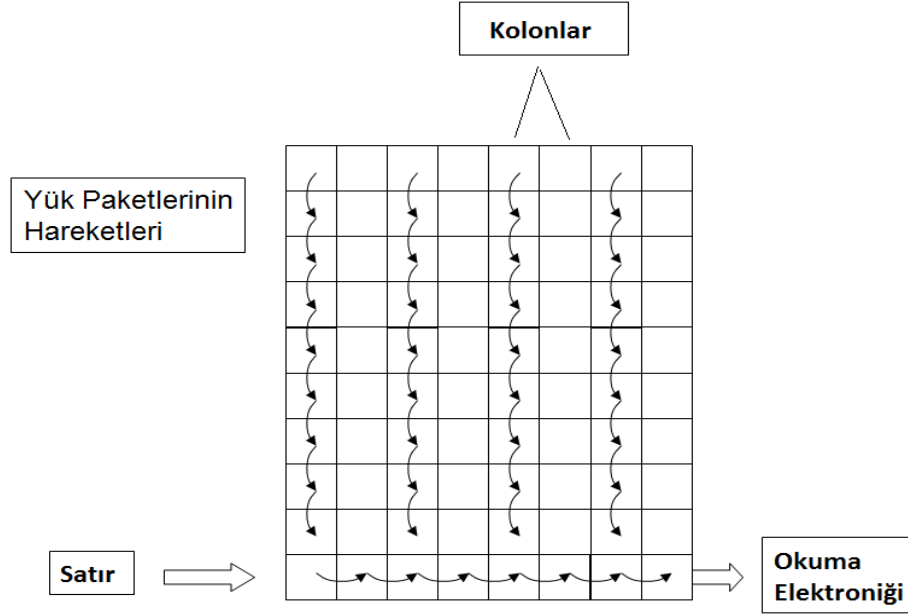
Dijital radyoloji daha kolay görüntü saklama, taşıma ve arşivleme gibi olanakları da sunmaktadır. Bu durum zaman kaybını en aza indirger ve klinikte hasta akışını hızlandırmaktadır. Film masraflarını azaltacak olması diğer bir avantajıdır. Son yıllarda dijital radyoloji teknolojisinde ağırlıklı olarak film transistör okuma mekanizmasına sahip dijital dedektörler görüntülemeye kullanılmaya başlanmıştır.

Dijital dedektörlerin günümüzde birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlar yüke bağlı sistemler, fosfor tabakası kullanan dijital dedektörler ve panel detektörlerdir.

2.1.1 Yüke bağlı sistemler (CCD, Charge coupled devices)

Yüke bağlı sistemler (CCD), sintilatörde x-ışımından elde ettiği görünür ışığı elektrik sinyaline dönüştürerek görüntü elde eder. CCD’ler yanyana konumlandırılmış yarı iletken kapasitörden oluşur. Yüke duyarlı bir sistem olan CCD çipleri birçok pikselden meydana gelir. Işık fotonları lens veya fiber-optik ışık kılavuzlarıyla daha küçük alana sahip CCD üzerine odaklanarak foton sayıları ile orantılı olarak elektron elde edilir (Bor, 2002). Odaklama sırasında oluşacak kayıplar görüntüde fazladan gürültüye neden olur. Işınlama sırasında piksellere uygulanan voltaj sayesinde elektronlar tutulur; ışınlama bittiğinde piksellerdeki elektronlar, yük paketleri halinde piksel piksel aktarılarak okuma elektroniğine gönderilir. Yük paketleri her kolonda bir alt dedektör elementine yer değiştirdiğinde en alt satır yana doğru okuma yapar daha sonra dijitize

edilmek üzere analog sayısal dönüştürücüye (Analog Digital Converter, ADC) gönderilir (Şekil 2.3).

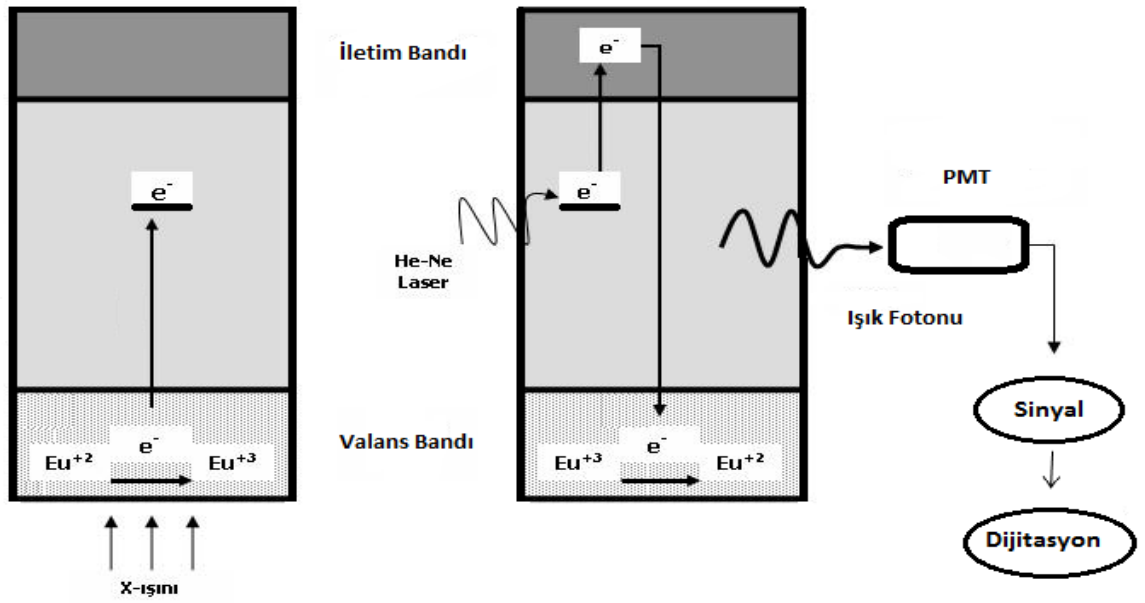


Şekil 2.3 Yüke bağlı sistemlerde piksellerdeki yükün toplanması (Bor, 2002)

2.1.2 Fosfor tabakası kullanan dijital dedektörler (Bilgisayarlı radyografi, CR)

Böyle bir dijital sistemde film-ekranda olduğu gibi kaset vardır. Fakat bu sistemde film kullanılmaz. Görüntü plakası genellikle Evropiyum (Eu) iyonlarıyla aktive edilmiş Baryum Fluorohalide ($BaFX:Eu^{+2}$) kristalinden oluşur. Tipik görüntü plakası %85 BaFBr ve %15 BaFI'dan ve çok küçük miktarda Evropiyumdan oluşur. BaFBr fosforunun Evropiyum ile katkılandırılmasının nedeni kristalde düzensizlik oluşturarak elektron tuzakları oluşturmaktır. Bu fosfor tabakası 0.1 ile 0.3 mm kalınlıklarda üretilmektedir. Bu kristal üzerine gelen doz ile orantılı olarak Europium atomları uyarılır ve elektronlar valans banttan uyarıldıkları enerji sayesinde iletim bandına geçer. Daha sonra fosfordaki kararsızlık bölgesinde (F-merkez) ara enerji seviyelerinde tuzaklara yakalanırlar. F merkezinde tutulan elektronların enerjisi iletim bandındakilerden düşük, valans bandından yüksektir. Elektronlar bu kararsız bölgedeki tuzaklanması gizli (latent) görüntüyü verir ve tuzaklanan elektronların miktarı x-ışını enerjisi ve miktarı ile doğru orantılıdır. Tuzaklanmış elektronların Helyum-Neon

lazer ile uyarılmasıyla yüksek enerji-kararsızlık bölgesindeki elektronlar daha alçak enerji seviyelerine geçerler. Bu geçiş sonucu açığa çıkan enerji ışık fotonu şeklinde olur. Sonra çıkan bu ışık fotonları ışık kılavuzu olarak kullanılan fiber optik kablolar ile fotoçoğaltıcı tüplere (PMT) yönlendirilir ve analog sinyallere dönüştürülür. Analog sinyalde Analog-Dijital dönüştürücüde (ADC) dijital sinyale çevrilerek işlenmek üzere görüntü birimlerine gönderilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 BaFX:Eu⁺² enerji bant yapısı (Seçil, 2002)

İlk işlemden tuzaktan kurtulamayan elektronların silinmesi lazer tarayıcı tarafından daha sık bir şekilde taranmasıyla olur ve kaset bir dahaki görüntü alma işlemine hazır hale getirilir. Filmin aksine, silme işlemiyle fosforun tekrar kullanım imkanı film-eکرan sistemine üstünlük sağlar. Fakat ek tarama aşaması nedeniyle, görüntüleme işlemi panel dedektörlere göre biraz daha yavaş gerçekleşir. Fosforu yaklaşık 8 saat lazerle taramadan bekletme, gizli görüntüde %75'lik kayba neden olur. Fosfor tabakasının lazer ile taranmasında 3 çeşit farklı yöntem mevcuttur. Bunlar nokta taramalı, çift taramalı, ve çizgi taramalı CR sistemlerdir. Tez kapsamında CR sistemleri üzerine çalışılmadığı için bu sistemlerin detayları verilmeyecektir.

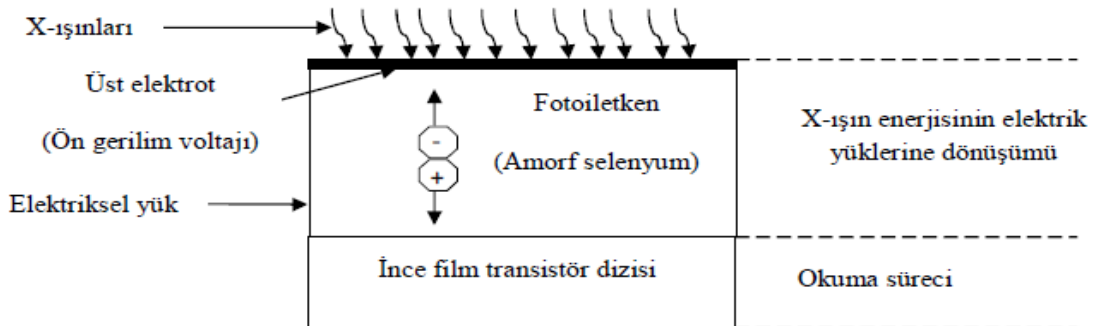
2.1.3 Panel dedektörler

Dijital dedektör teknolojisinde yüksek görüntü kalitesi, anlık görüntü alma ve işleme isteği gibi gereksinimler panel dedektör teknolojisine geçişi gerekli kılmıştır. Panel dedektörlerin film-ekran sistemlere ve CR sistemlere olan üstünlüğü düşük gürültü ve yüksek dedeksiyon kuantum etkinliği gibi özellikleri olarak göze çarpmaktadır.

Bu tür dijital dedektör teknolojisinin çalışma esası elektrik sinyaline dönüştürülmüş X-ışın enerjilerinin piksellerde bilgi oluşturmasına dayanır. Kullandığı TFT (ince film transistör) dizisi ile film-ekran ve CR sistemlerden ayrılır. Dijital radyografi sistemleri doğrudan ve dolaylı dönüştürme sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.3.1 Doğrudan dönüştümlü panel dedektörler

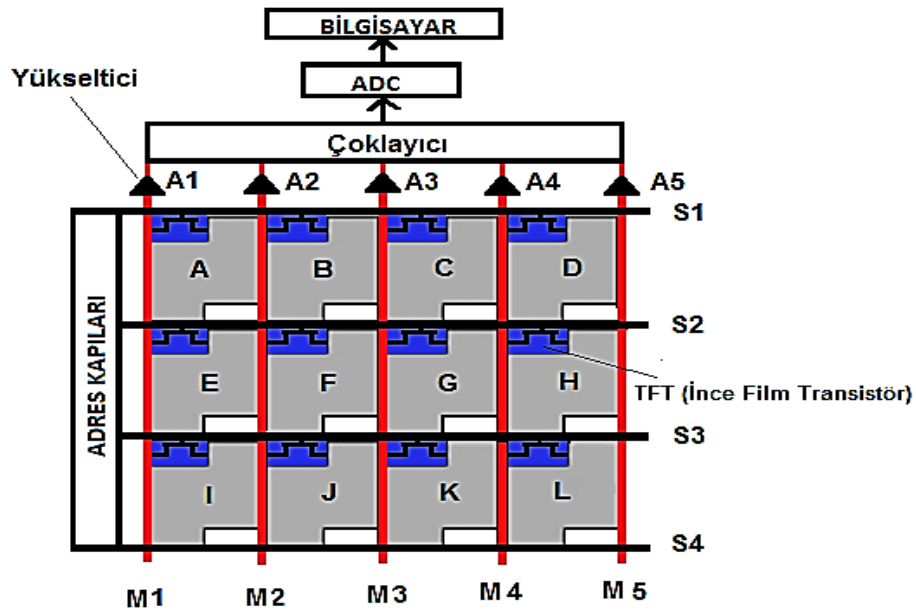
Doğrudan dönüştümlü panel dedektör teknolojisinde her bir x-ışını etkileşimi öncesi fotoiletkene elektrik alan uygulanır ve katman yüzeyi elektrik yük kazanır. Sonra x-ışını fotoiletken ile etkileşime girerek elektron-deşik çiftleri oluşur ve elektrik yükü değişimi olur. Elektron-deşik çiftleri TFT (ince film transistör) dizisi ile kaplı fotoiletken tarafından yüklü yüzeylere geçer. Buradaki her TFT bir piksele karşılık gelir dolayısıyla transistör sayısı kadar piksel mevcuttur. Elde edilen yük değişimi sinyal olarak algılanır ve ADC ile dijitize edilir. Doğrudan dönüştümlü sistemlere ait dedektör yapısı Şekil 2.5'deki gibidir.



Şekil 2.5. Doğrudan dönüştümlü panel dedektör yapısı(Olğar 2013).

Doğrudan dönüşümlü panel dedektörlerde fotoiletken olarak Amorf Selenyum(a-Se), Kadmiyum Çinko Tellür (CdZnTe) ve Kurşun İyodür (PbI₂) kullanılabilir. Bu tür teknolojide Amorf-selenyum çokça tercih edilen foto iletkendir. Bunun sebebi x-ışını ile girdiği yüksek etkileşim ve sağladığı yüksek uzaysal ayırma gücüdür. Düşük K-kenara sahip olması mamografik incelemeler için uygunluk gösterir. Amorf-selenyumun düşük atom numarasına sahip olması nedeniyle yüksek miktarda x-ışın soğurumu için 1000µm kadar kalınlıklara kadar üretilmesini gerekmektedir. Böyle bir kalınlıkta tek bir x-ışın etkileşimi 1000'e kadar elektron-deşik çifti oluşturmasına neden olur böylelikle yüksek x-ışın dönüşümü sağlanmış olur. Ek basamak gerektirmeden X-ışınını doğrudan yüke çevirmesi yüksek ayırma gücü sağlar. Fakat arka arkaya alınan görüntülerde yüklerin boşaltılması sorun olduğu için görüntü gecikmesi ve hayalet görüntü oluşumu bu tür dedektörlerde sorun oluşturmaktadır.

Panel dedektörlerde anahtarlama görevi yapan transistörler görüntü oluşturma mekanizmasında yer alır (Şekil 2.6).



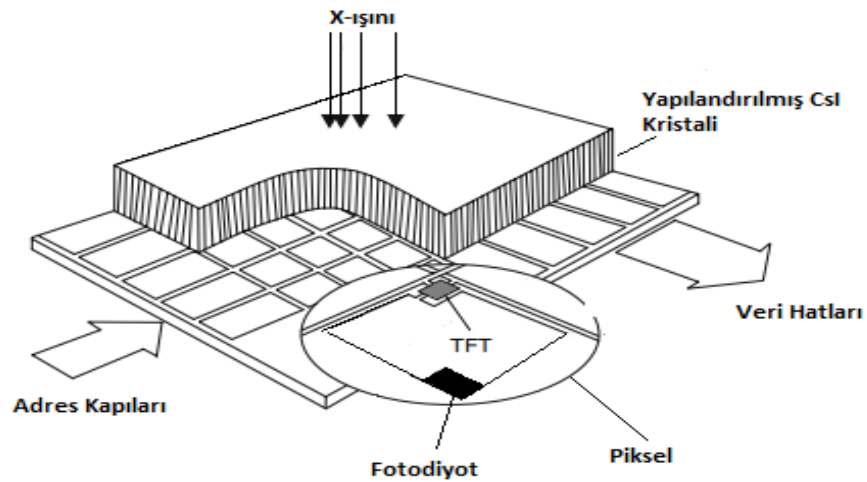
Şekil 2.6 Panel dedektörlerdeki TFT'lerde sinyal okuma mekanizması.

Görüntü oluşturma mekanizmasını özetlemek gerekirse, ışınlama sırasında TFT dizisindeki bütün S adres kapılarına negatif voltaj uygulanarak transistörler kapalı tutulur. Işınlamanın ardından adreslerdeki piksellere ait yüklerin toplanması için S satır

boyunca sıra sıra pozitif voltaj uygulanır. Sonra çoklayıcıda açık olan A anahtarlarına göre akım iletimi M iletim kanal sayesinde olur ve pikseldeki yük, yükselteçten geçerek yük toplama işlemi gerçekleşir. Bu işlem tek tek satır ve sütunlar halinde kademeli olarak hızlı bir şekilde oluşturulmasıyla görüntü oluşumu sağlanır. Yük toplama işlemine örnek verecek olursak; S3 adres kapısına pozitif voltaj verildiğinde I, J, K ve L dedektör elementleri iletime açık hale gelir. A anahtarlarından da A3 anahtarı açık, diğerleri kapalı olduğunda yalnızca K pikseldeki yükler uygulanan voltaj sayesinde M3 iletim kanallarıyla yükseltece, oradanda dijitize edilmek üzere ADC'ye gönderilir (Olğar 2013).

2.1.3.2 Dolaylı dönüşümlü panel dedektörler

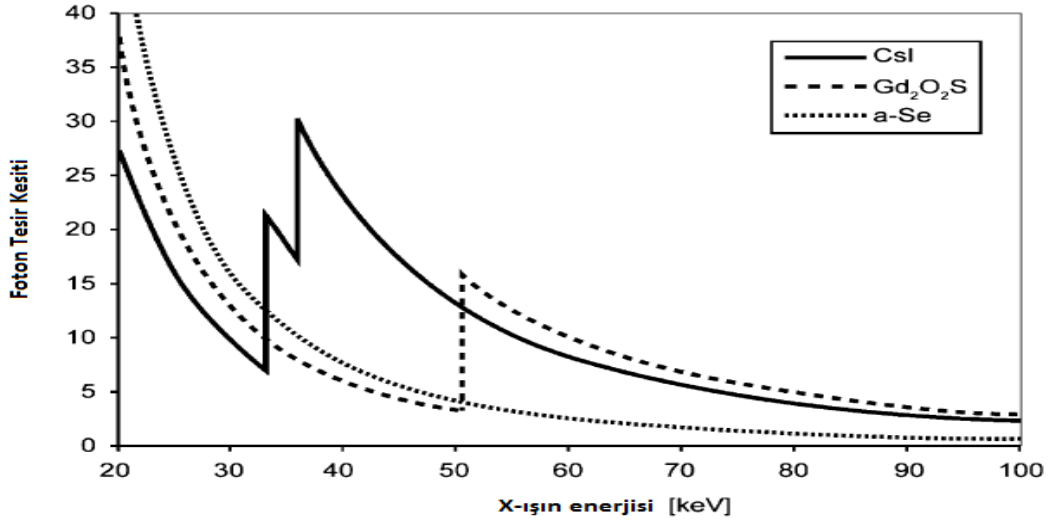
Dolaylı dönüşümlü panel dedektörler x-ışının dönüşümü iki aşamada gerçekleşir. Dönüşüm işlemi başta x-ışını etkileşimiyle Gadolonyum Oksisülfat (Gd_2O_2S) ve Sezyum İyodür (CsI) gibi kristallerden elde edilen görünür ışığın sonra amorf-silikon (a-Si) gibi fotodiyotta elektrik yüküne dönüştürülmesiyle son bulur. Burada fotodiyot kapasitör gibi davranır ve foto uyarım sonucu elde edilen yükü depolar. Oluşturulacak görüntü matrisi için gerekli her pikselin TFT anahtara bağlı kapasitörü vardır. Bu kapasitörlerdeki yükler TFT kontrolünde veri hatlarından satır satır boşaltılarak okuma işlemi gerçekleşir. Sonra elde edilen sinyaller yükseltilir ve dijitize edilmek için ADC'ye gönderilir. Sistemin genel yapısı Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Dolaylı dönüşümlü panel dedektör yapısı (Spahn, 2005).

Dolaylı dönüşümlü sistemlerde çoğunlukla Talyum ile aktive edilmiş CsI:TI kristali kullanılır. Bunun nedeni iğne şekilli olarak yapılandırılabilmesidir. Böyle bir kristalde x-ışın etkileşim sonucu oluşan ışığın materyal içerisinden saçılımı, iğne şekilli yapılandırılmasından dolayı düşüktür ve bu durum görüntüde yüksek uzaysal ayırma gücü verir. İğne şekilli yapılandırılmış kristal ile oluşan x-ışınları çok az bir saçılmayla ilgili fotodiyota ulaşmış olur. Kristalin daha kalın üretimi sonucu oluşacak daha fazla ışık saçılımı yapılandırılmış kristalde engellenir ve kristalin kalın üretimi ile x-ışın soğurumu etkinliğide artırılmış olur.

Bu kristalin diğer bir özelliği ise klinikte kullanılan x-ışın enerjilerinde yüksek soğurum sağlamasıdır. Sezyum için K-kenarı 36keV, İyot için 33.2keV'dir. CsI kristaline ait K-kenar soğurum bandı Şekil 2.8'de verilmiştir. X-ışın enerjisinin, kristalin K-kenar soğurma bandına yakın olması fotoelektrik etkileşme olasılığını artırır. CsI kristalin bu özelliği onu radyoloji, floroskopi ve anjiyografide 45-120kVp çalışma voltajı aralığında önemli kılar.



Şekil 2.8 CsI, Gd₂O₂S ve a-Se kristallerinin tipik soğurum özellikleri (Spahn, 2005).

Ayrıca CsI kristalleri mamografi incelemelerinde de kullanılmaktadır. Mamografide tipik anot materyalinin oluşturduğu x-ışın voltajları 25 kVp ile 30 kVp'dir. Bu değerler CsI kristalinin K-kenarının altındadır. 150µm kalınlığında yapılandırılmış CsI kristali mamografi incelemelerine uyum sağlar (Spahn, 2005).

2.2 Otomatik Işınlama Kontrol(AEC, Automatic Exposure Control) Sistemi

Radyolojide değişen hasta parametrelerine bağlı olarak hastanın en az dozu alması ve elde edilen görüntü kalitesinin optimum düzeyde olması amacıyla AEC sistemleri kullanılır. AEC sistemi ışınlama sırasında kVp, mAs gibi X-ışın jeneratörü parametrelerini kontrol ederek, hasta dozu ve görüntü kalitesi bakımından en uygun koşulu sağlar. AEC, dedektöre gelen gerçek radyasyon miktarını ölçerek belirli bir ekran-film kombinasyonu için istenen optik yoğunluğu veren ışınlama miktarına ulaşıncaya ışınlamayı keser. AEC sistemleri genelde 400 film hızına kalibre edilirken buna karşılık gelen DAK (Dedektör Hava Kerma) değeri 2.5uGy'dir. AEC sistemi dedektör, yoğunluk ayarı ve sonlandırma anahtarı içerir. Işınlanacak bölgede farklı anatomik bölgelerdeki x-ışın soğurma farklılıklarını kompanse etmek için özellikle akciğer incelemelerinde 3 farklı AEC dedektörü kullanılır. Yoğunluk ayarı, AEC sisteminin ayarının yapıldığı ekran-film kombinasyonundan farklı kombinasyonlarda ekran-film kullanılması durumunda, AEC sisteminin ayarını kaydırmak için kullanılır. Çünkü ekran-film kombinasyonunun hızına göre gerekli optik yoğunluk değerini veren ışınlama değeri değişmektedir. Mamografi incelemelerinde ek olarak hedef/filtre kombinasyonunun seçimi de kullanıcı tercihiyle bağlı olarak AEC tarafından yapılabilir. Böyle bir AEC sistemi ile sıkıştırılan meme kalınlığına göre ve ön ışınlamayla meme için gerekli x-ışın spektrum belirlenir ve ışınlama yapılacak hedef/filtre materyali belirlenir. AEC sistemlerinde tam otomatik ve yarı otomatik kullanım opsiyonları vardır. Tam otomatik AEC sisteminde AEC, kVp ve mAs seçimini kendi yaparken, yarı otomatik sistemlerde kVp kullanıcı tarafından seçilir ve mAs ayarı AEC tarafından yapılır. AEC sistemi saçılan ışınları durdurmada kullanılan gridin altında yer alır. AEC sisteminin, üreticinin belirttiği özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunun için AEC parametreleri üreticinin belirttiği şartlar altında değerlendirmeye tabi tutulmalıdır (NHSBSP Equipment Report 0604, 2009).

2.3 Dijital Radyolojide Kullanılan Gridler

Radyolojide görüntü almak için hastaya gönderilen x-ışını hasta ile etkileşimler sonucu saçılır ve saçılan x-ışınları görüntü alıcıda faydalı bilgi içermez. Bu nedenle saçılan x-

ışın miktarının azaltılması için hasta ile görüntü alıcı arasına grid yerleştirilir. Gridler, objeyi geçerken saçılan ve görüntü kontrastını bozan saçılan radyasyonun önlenmesine yönelik geliştirilmiş, belirli aralıklarla dizilmiş, kurşun şeritlerden oluşan ızgara biçimindeki bileşenlerdir. Bu şekilde ışın geçirgen aralıklardan, sadece doğrusal olarak reseptöre yöneltilen ışınlar ulaşırken, değişik yönlerden gelen ve radyografik kaliteyi bozan saçılmış radyasyon soğurur. Grid yapısında saçılan x-ışınını soğurması için yanyana ince uzun kurşun şeritler vardır. Bu şeritler arasına birincil x-ışınını geçiren alüminyum veya karbon fiber kullanılır. Grid kaplaması olarak ise alüminyum, karbon fiber, PVC (Polivinil klorür polimeri) kaplama kullanılmaktadır.

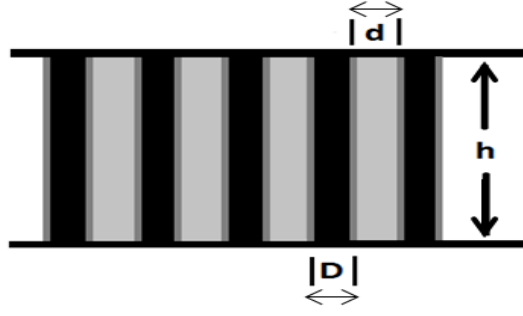
Gridlerin etkin olarak kullanılabilmesi için tüp-grid mesafesi uygulamaya ve gride uygun şekilde ayarlanmalı, grid pozisyonu uygun olmalı, grid düzlemi reseptör yüzeyine paralel olmalı, gridin merkezi x-ışın demeti merkezine dik olmalı ve gridin yönüne dikkat edilmelidir. Bu tür gereklilikler yerine getirilmezse, birincil ışın ile kurşun şeritler arasında uyumsuzluk olur ve görüntüde grid kesimi gibi artefaktlar meydana gelir.

2.3.1 Grid özellikleri

2.3.1.1 Grid oranı(r)

Grid oranı kurşun şeritlerin boyunun (h) aralarındaki uzaklığa (D) oranıdır. Denklem 1’de Grid oranının formülasyonu verilmiştir. Şekil 2.9’da grid iç tasarımı görülmektedir. Yüksek oranlı gride, X-ışınının soğurulması daha fazla olacağından film üzerindeki kararlar, aynı dozda ve düşük oranlı grid kullanımına göre azalacaktır. Genellikle grid oranları 4:1 ile 16:1 arasında değişir. Mamagrafide kullanılan grid oranları 3:1, 4:1 ve 5:1 oranlarında değişmektedir. Grid oranının formülasyonu aşağıdaki denklemdeki gibidir

$$r \text{ (Grid oranı)} = h/D$$



Şekil 2.9 Grid iç tasarımı

2.3.1.2 Grid frekansı(f)

Grid frekansı, gride cm'deki kurşun şerit sayısı olarak tanımlanır ve çizgi sayısı/cm veya çizgi sayısı/inch şeklinde verilir. Artan grid frekansı ile saçılan radyasyon miktarı azalır ancak birincil x-ışını soğurumunda artar. Grid frekansı 40 çizgi sayısı/inch ile 200 çizgi sayısı/inch arasında değişiklik gösterir (Demirkaya 2010). Mamografi incelemelerinde kullanılan grid frekansı 30 çizgi sayısı/cm ile 80 çizgi sayısı/cm arasında değişmektedir. Grid frekansının formülasyonu aşağıdaki denklemdeki gibidir.

$$f = 1/(D+d)$$

2.3.1.3 Grid deseni

Grid deseni kurşun şeritlerin farklı tipte tasarlanmasıdır. Gride yukarıdan bakıldığında görülen desendir. Paralel, çapraz, odaklı, sabit ve hareketli grid tasarımları mevcuttur.

- Paralel Grid

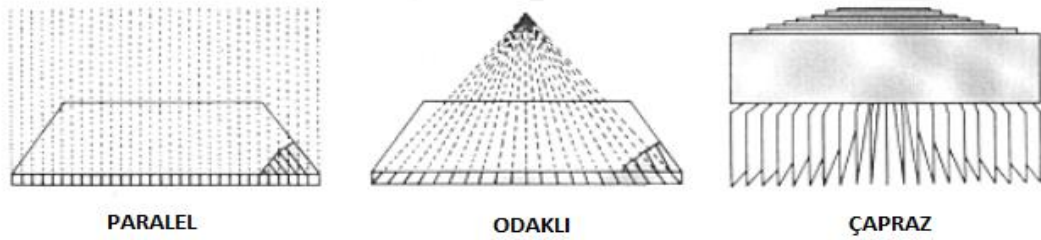
Bu tür gridlerde grid içerisindeki kurşun şeritler birbirine paralel ve film yüzeyine dik gelecek şekilde düzenlenmiştir. Grid odaklaması sonsuzdadır. X-ışınların odakta iraksak çıkması nedeniyle görüntü alıcının kenar tarafına doğru x-ışın soğurumu meydana gelir ve bu durum paralel gridlerin dezavantajını oluşturur.

- Odaklı Grid

Kurşun şeritler tüp tarafında belli bir noktada odaklanacak şekilde açlandırılmıştır. Odak mesafesi grid ile odak noktası arasında dik mesafedir. Klinikte kullanılan gridler genelde odaklı gridlerdir. Odaklı gridlere ait f_0 değeri grid kesimi olmaması için ayarlanması gereken odak- grid mesafesidir (Bor 2002).

- Çapraz Grid

Çapraz grid, iki paralel gridin dik olacak şekilde üst üste getirilmesiyle elde edilen grid tasarımıdır. Saçılan foton soğurumu yüksektir. Bu tür gridlerde birincil radyasyon geçirgenliği azalacağından, görüntü kalitesi için ışınlamanın artacak olması hasta dozunu artırır. Paralel, odaklı ve çapraz grid tasarımı Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2.10 Paralel, odaklı ve çapraz grid tasarımı

- Sabit Grid

Bu gridin yapısında oldukça ince ve yakın opak şeritler bulunur ve bu şeritler görüntü üzerinde artefaktlar oluşturmayacak şekilde hasta ile film arasına sabitlenir.

- Hareketli Grid (Bucky-Potter Grid)

Radyolojik görüntüleme de gride ait kurşun şeritlerin gölgesinin görüntü üzerinde oluşması nedeniyle bu tür gölgeleri azaltmak için yüksek frekans gridlerin kullanılması tavsiye edilir. Grid gölgesinin görüntüde etkisini azaltmak için diğer bir yöntem ise hareketli grid kullanımıdır. Grid gölgesinin azaltılmak istenmesinin nedeni bu gölgelerin görüntüde yapısal görüntüye neden olmasıdır ve bu da lezyon dedeksiyonunu zorlaştırmaktadır. Bu tür gölgelerin yok edilmesiyle veya azaltılmasıyla görüntüdeki yapısal gürültü azaltılabilir. Bu tür hareketli gridlerde ışınlama esnasında motor

yardımıyla gride titreşim uygulanarak grid gölgesi bulanıklaştırılır. Böylelikle elde edilen görüntüde grid gölgesinin etkisi azaltılmış olur. Hareketli grid olarak odaklı gridler kullanılır. Bir yöne doğru hareket eden, birçok kez ileri geri ve dairesel hareket yapan hareketli grid tasarımları mevcuttur.

2.4 Panel Dedektör Kalibrasyonları

DR dedektörler mükemmel yanıtı sahip değildir. DR dedektörlerindeki homojenite bozuklukları görüntüde yapısal gürültüye neden olur. Bu tür homojenite bozuklukları bir takım kalibrasyonlar ile düzeltilebilir.

2.4.1 Kazanç (Gain) kalibrasyonu

DR dedektörlerinin x-ışınına karşı bölgesel hassasiyeti sonucu oluşan uzaysal kazanç farklılıkları, fosfordaki kalınlık farklılıkları, heel etkisi, sinyal yükselticideki farklılıklar ve zamana bağlı dedektördeki zedelenmelerin meydana gelmesi (distorsiyon) dedektörde homojenite bozukluklarına neden olur. Dedektörde yapılacak olan kazanç kalibrasyonu ile bu tür etkilerin görüntüde neden olduğu homojenite bozuklukları düzeltilir. Bu işlem dedektörde firmanın tavsiye ettiği demet kalitesinde yapılır. Daha sonra birden fazla düz alan görüntüsü (flat field images) ile elde edilen kazanç haritası sonraki görüntülere uygulanır.

2.4.2 Offset kalibrasyonu

DR dedektörlerde ışınlanmanın olmadığı durumda sistemin elektronik bileşenlerinden kaynaklı karanlık gürültü meydana gelir. Işınlanmanın olmadığı durumda sadece karanlık gürültüye ait sinyalin kayıt edilmesiyle offset haritası elde edilir. Sonra her pikseldeki sinyalden karanlık gürültüye ait sinyalin çıkarılmasıyla offset kalibrasyonu yapılmış olur.

2.4.3 Kusurlu piksel kalibrasyonu

DR dedektörleri tek bir hat boyunca veya tek bir bölgede toplanmış olarak kusurlu piksellere sahip olabilir. Böyle bir durumda bu tür pikseller görüntüde lezyon dedeksiyonuna zorlaştırır. Bu nedenle kusurlu piksellere, yakın piksellerin ortalama değerininin atanmasıyla kalibrasyon yapılmış olur. Kusurlu piksellerin görüntü kalitesi üzerindeki etkisini inceleyen R Padgett ve CJ Kotre (2004), artan kusurlu piksel miktarının dedektör kuantum etkinliği üzerinde etkili olduğunu, fakat kusurlu piksel sayısının dedektördeki toplam piksel sayısına oranının %20'nin altında kaldığı durumda kontrast-detay ve ayırma gücü ölçümlerinde farkın algılanmadığını belirtmişlerdir. Bu nedenle ne kadar kusurlu pikselin görüntü kalitesini etkileyeceği belirsiz olmakla beraber her dedektörün kendi içinde değerlendirilmesi gerekir (IPEM Report Number 32, Part VII 2010).

2.5 X-ışın Kalitesi ve Kantitesi

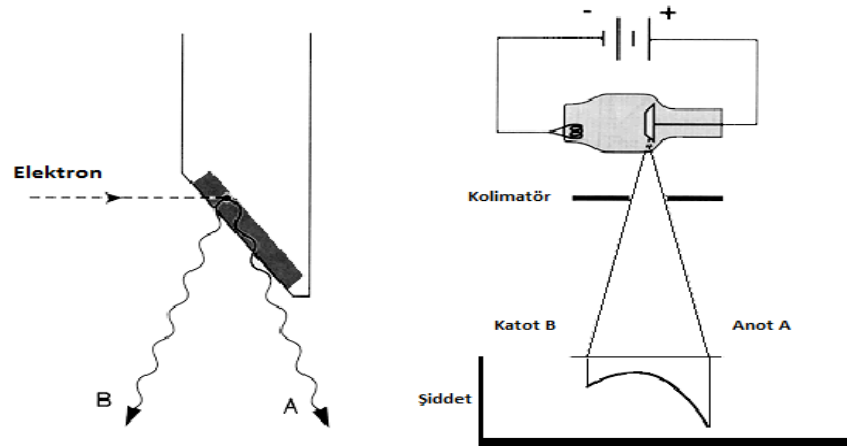
X-ışınlarının kalite ve kantitesi kVp ve mA tarafından belirlenir. X-ışını demetinin enerjisi kaliteyi, oluşan x-ışınının miktarı kantiteyi belirler. Uygulanan kVp artınca elektronların hızı ve enerjisi artar, oluşan ışının dalga boyu kısalır. mA artınca elektron bulutunun yoğunluğu artar. Daha fazla elektron ile daha fazla x-ışını oluşturulur. Daha fazla ışınlama süresi ile de daha fazla x-ışını oluşturulabilir. mA değerini iki katına çıkarmakla ışınlama süresini(sn) iki katına çıkarmak aynı etkiye sahiptir. Ayrıca üretilen x-ışın miktarı tüp gerilimi (kVp) ile de artar. Elde edilen x-ışınına ait spektrumun sürekli bir spektrum olması sebebiyle demetin ortalama enerji jeneratörde uygulanan kilovoltajın 1/3'ü ile 1/2'si arasındadır. Demet kalitesini ve kantitesini etkileyen bir diğer faktör ise filtrasyondur. Artan filtrasyon ile demetin sürekli spektrumuna ait düşük enerjili fotonları soğurulması nedeniyle demetin ortalama enerjisi, kalitesi artar. Artan filtrasyonla daha fazla x-ışın fotonu soğurulması sebebiyle kantite düşer. X-ışınlarının kantitesinin katettiği mesafeye bağlı olarak azalması onun temel özelliğidir. Bu özellik ters kare kanunu olarak bilinir ve odaktan çıkan x-ışınları kantitesi mesafenin karesi ile orantılı olarak azalır. Kantite ve kaliteyi etkileyen diğer etmenler; hedef

materyal, odak açısı, heel etkisi, kullanılan dalga şekli olarak sıralabilir. Bunlar hali hazırda kurulu bir sistem için kolay değiştirilebilen faktörler olmadığı için sürekli kullanımda olan ve zaten kurulu sistemin fiziksel özellikleri olması neticesiyle kantite ve kaliteyi fazla değiştirmezler.

2.6 Heel Etkisi ve Filtrasyon

2.6.1 Heel etkisi

X-ışın oluşumu sırasında katot tarafında x-ışın miktarı daha fazladır. Bu durum anot tarafında oluşan x-ışınlarının hedef materyal içerisinde daha fazla yol kattetmesi ve soğurulması sonucu oluşur ve sonuç olarak x-ışın miktarı anot tarafında daha az olur. Bu duruma heel etkisi denir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Heel etkisinin oluşumu

Heel etkisi bir takım yöntemler ile azaltılabilir. Tüpün anot tarafı hastanın ince tarafına, katot tarafı hastanın kalın tarafına getirilerek dedektörde homojen bir foton dağılımı sağlanabilir. Mamografide ise heel etkisi, tüpün katot tarafının meme duvarı hizasına getirilmesiyle engellenebilir. Heel etkisinin engellenemediği durumlarda foton şiddetindeki bölgesel değişim görüntüde gürültüye neden olur. Bu tür gürültü literatürde yapısal gürültü grubunda sınıflandırılır. Frekans ortamındaki analizinde düşük frekans bölgesinde değerlendirilir.

2.6.2 Filtrasyon

Tanısal radyolojide x-ışın tüpleri 40 ile 150 kVp arasında çalışır. Aynı jeneratöre sahip iki farklı sistemde aynı kVp’de elde edilen x-ışın spektrumları farklıdır. Bunun nedeni sistemin anot açısı, dalga formu, doğal ve eklenmiş filtrasyonlardır. Tabii filtrasyon sistemin kendisinde var olan, tüpün içerisindeki yağ, cam kılıf gibi tüpün kendisine ait özelliklerinden kaynaklanır. Ek filtrasyon ise x-ışın alanının önüne yerleştirilen ek alüminyum plakalardır. Alüminyum eşdeğeri olarak tanımlanan toplam filtrasyon, doğal filtrasyon ile ek filtrasyonun toplamıdır. Toplam filtrasyon direkt olarak ölçülemez. Alternatif yöntem olarak belirli bir demet kalitesinde belli bir mesafe için demet şiddetini yarıya indiren alüminyum kalınlığı olarak ifade edilen yarı değer kalınlığının (Half Value Layer, HVL) ölçülmesiyle bulunur.

2.6.3 HVL (Yarı değer kalınlığı)

X-ışın kalitesi yarı değer kalınlığı ile ifade edilir ve x-ışını şiddetini yarıya indirecek soğurumu sağlayan kalınlık olarak tanımlanır. Bu kalınlık ile birincil fotonların %50’sinin soğurulacağı anlamına gelir. X-ışının enerjisinin artmasıyla HVL değeri artar. Verilen bir kVp için ek filtre eklenmesi HVL değerini büyütür. Filtrasyon miktarı x-ışın spektrumunu etkilediğinden ve farklı sistemlerde aynı kVp’de farklı spektrumlar elde edilebildiğinden, demet kalitesinden bahsederken hem kVp hem de yarı değer kalınlığı belirtilir. Filtrasyonun tanısal radyolojideki önemi hasta cilt dozlarını azaltmasıdır. Hastayı geçip filme ulaşması mümkün olmayan demetin alçak enerjili ışınları hasta yerine filtrelerde durdurulmuş olur (Olğar, 2013).

2.6.4 IEC 61627’de tanımlı RQA x-ışın demet kalitesi

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından belirlenen birçok standart radyasyon şartları ile tanısal cihazlara ait testler yapılabilir. Bu standartlardan RQA demet kalitesi ve RQA-M demet kalitesi standardı tez kapsamında kullanılmıştır.

IEC 61627’de tanımlı RQA demet kalitesi standardı için belirlenmiş durumlar;

- Anot (hedef) materyalinin TUNGSTEN olması gerekmektedir.
- Sistemde ayarlanan X-ışın kilovoltaj (kVp) değerinin en fazla %1.5 veya 1.5 kVp belirsizliğe sahip olması ve tüp çıkışının kilovoltaj ile değişimine ait üstel fonksiyon katsayısının 2 veya daha büyük olması gerekmektedir.
- Belirli kilovoltajdaki tavsiye edilen birinci HVL değerinden daha büyük birinci HVL değerinin elde edilmesi, x-ışın tüpü bileşenlerinin bu demet kalitesi için uygun olmadığı anlamına gelmektedir.
- Eklenen alüminyuma ait saflık derecesinin en az %99.9 olması gerekmektedir.
- Eklenen alüminyumların açılan X-ışını alanını kaplaması gerekmektedir.

RQA demet kalitesi standardına ait kVp, eklenmesi gereken alüminyum kalınlıklar ve birinci HVL değerleri Çizelge 2.1’deki gibidir.

Çizelge 2.1 RQA X-ışın demet kaliteleri

Standart Radyasyon Kalitesi	X-ışın tüp voltajı kVp	Eklenen Alüminyum kalınlığı(mm)	Birinci HVL(mm)
RQA-2	40	4	2.20
RQA-3	50	10	3.80
RQA-4	60	16	5.40
RQA-5	70	21	6.80
RQA-6	80	26	8.20
RQA-7	90	30	9.20
RQA-8	100	34	10.10
RQA-9	120	40	11.60
RQA-10	150	45	13.30

RQA-M demet kalitesi standardı için belirlenmiş durumlar;

- Anot (hedef) materyalinin MOLYBDENYUM olması gerekmektedir.
- Sistemde ayarlanan X-ışın kilovoltaj (kVp) değerinde %4’ten fazla dalgalanma (ripple) olmaması gerekmektedir.
- Belirli kilovoltajdaki tavsiye edilen birinci HVL değerinden daha büyük birinci HVL değerinin elde edilmesi, x-ışın tüpü bileşenlerinin bu demet kalitesi için uygun olmadığı anlamına gelmektedir.

- X-ışın sistemindeki anot materyali olarak kullanılan molbdenyumun 0.032mm±0.002 toplam filtrasyona sahip olması gerekmektedir.
- Eklenen alüminyumların 2mm ± 0.01mm olması gerekmektedir.

RQA-M demet kalitesi standardına ait kVp, eklenmesi gereken alüminyum kalınlıklar ve birinci HVL değerleri Çizelge 2.2'deki gibidir.

Çizelge 2.2 RQA-M X-ışın demet kaliteleri

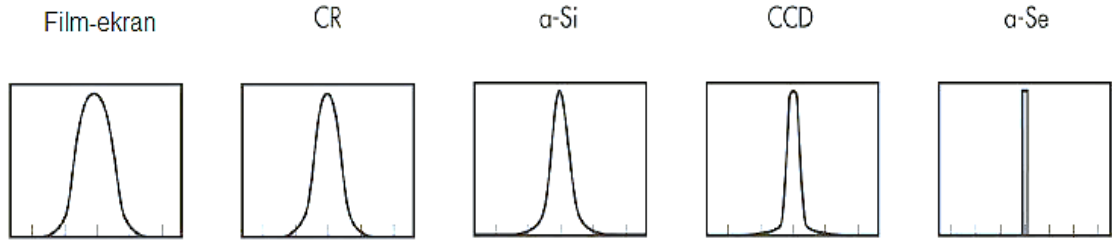
Standart Radyasyon Kalitesi	X-ışın tüp voltajı kVp	Eklenen Alüminyum kalınlığı(mm)	Birinci HVL(mm)
RQA-M1	25	2	0.56
RQA-M2	28	2	0.60
RQA-M3	30	2	0.62
RQA-M4	35	2	0.68

2.7 Görüntü Kalitesi Parametreleri

2.7.1 Uzaysal ayırma gücü

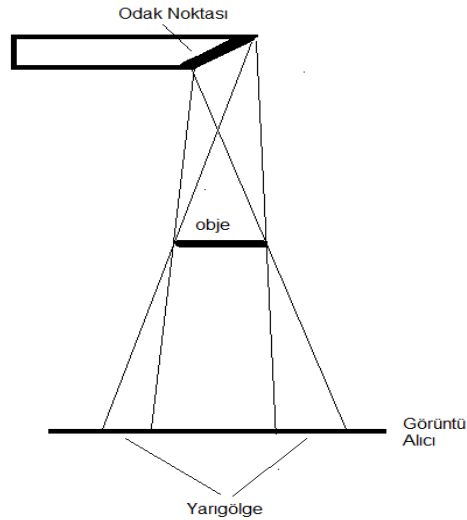
Bir görüntüleme sisteminde ayırma gücü birbirine yakın iki ayrı objenin ayrı ayrı görüntülenebilmesidir. Radyolojik görüntüde, milimetredeki çizgi çifti (çç/mm) olarak tanımlanır. Dedektör piksel boyutu, X-ışınlarının yüke dönüşümünün dolaylı veya doğrudan olması ve x-ışın tüpü odak nokta boyutu ayırma gücünü etkileyen parametrelerdir. Piksel boyutunun düşmesiyle birbirine daha yakın objelerin ayırt edilmesi mümkün hale gelir. Piksel boyutu ile görüntülenecek en küçük cisim arasındaki ilişki Nyquist teoremi ile belirlenir. Analog sinyalin sayısallaştırmasında kullanılan ADC'de sinyalin örnekleme sistemi Nyquist sınırında veya daha iyi ise $(Fn = 1/(2 \times \Delta x), \Delta x = \text{Piksel boyutu})$ görüntüde bozulma olmaz. Fakat Nyquist sınırı altındaki frekanslarda bir örnekleme yapılırsa sinyalin yüksek frekanslarda temsili düşük frekanslara yansır ve katlanma (aliasing) etkisi ortaya çıkar. Dolayısıyla sistemin maksimum ayırma gücü sınırını Nyquist sınırı belirler. Nyquist sınırından daha yüksek frekanslarda örnekleme ise görüntüde gürültü artışına neden olur. X-ışın sisteminde

kullanılan dönüştürücü ayırma gücünü etkiler. Dönüşüm sonrası oluşan ışık fotonları ilgili piksele ait bilgiyi taşıırken kristal içerisinde saçılması, görüntünün bulanıklaşmasına ve nokta dağılım fonksiyonu genişlemesine neden olarak ayırma gücünü bozar. Bu nedenle doğrudan x-ışının dönüşümünü sağlayan amorf-Se kristalleri daha iyi ayırma gücü sağlar (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Radyolojide kullanılan farklı görüntü alıcılara ait nokta dağılım fonksiyonları(Bor, 2002)

Odak nokta boyutu ise ayırma gücünü belirleyen bir diğer parametredir. Odak nokta boyutunun sınırlı olması, görüntüde yarı gölge oluşumuna neden olarak görüntüde bulanıklaşmaya neden olur ve bu durum ayırma gücünü bozar. Bu durum Şekil 2.13’de gösterilmiştir. Bulanıklık, küçük odak noktası kullanımı ile azaltılarak ayırma gücü iyileştirilebilir. Fakat küçük odak kullanımında, daha küçük alanda yüksek ısı birikimini olması anot materyaline zarar verir.



Şekil 2.13 Yarı gölge oluşumu (Bor, 2002)

2.7.2 Kontrast

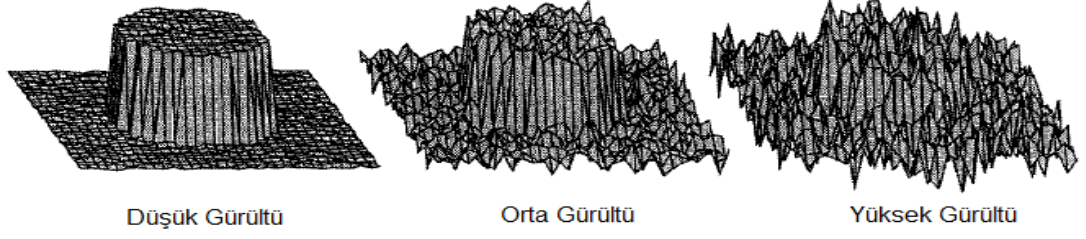
Kontrast, noktalar arasında x-ışın miktarındaki farklılıklar olup, etkileşmenin olduğu vücut kesitinin fiziksel özelliklerine ve x-ışın demetinin giriciliğine bağlıdır. Kontrast çeşitleri 3 ayrılır. Bunlar, görüntülenecek objenin fiziksel ve kimyasal özellikleri sonucu çevre dokulara karşı farklılıkların olduğu obje kontrastı, x-ışının hastadaki etkileşimi sonucu, farklılaşarak hasta çıkışında gözle görülemeyen öznel kontrast, görünür görüntüde açığa çıkan gri seviye farklılıklarının oluşturduğu görüntü kontrastıdır (Bor, 2002).

Görüntüde kontrastı etkileyen en önemli parametre hastadan saçılan x-ışınlarıdır. Yüksek kilovoltaj kullanımı, artan hasta kalınlığı, görüntülenecek dokuya ait atom numarasının yüksek olması ve hastada ışınlanacak bölge için açılan x-ışın kolimasyon alanının büyük olması, saçılan x-ışın miktarını artıracığı için bu durumlarda kontrast bozulur.

2.7.3 Gürültü

Bir x-ışını görüntüleme sisteminde elde edilen homojen bir görüntü, radyasyonun rastgeleliğinden ve görüntüleme sisteminin dedektör, fosfor yapısı, dedektör elektroniği gibi elemanlarının doğurduğu sinyal dalgalanmalarına bağlı olarak bölgesel olarak şiddet farklılıkları içerir. Sayısal hale getirilen görüntüye ait piksellerdeki sinyallerde sonuç olarak farklılıklar oluşur. Görüntü oluşturma aşamasındaki basamaklarda meydana gelip, rastgele etkileşimlerden kaynaklanan, gerçek sinyallerle etkileşime girerek görüntüyü bozan rastgele sinyallere gürültü adı verilmektedir. Gürültü basit anlamda pikseller arasındaki bu değer farklılıklarının karekök ortalaması (rms değeri) olarak ifade edilir.

Gürültü, görüntüde başlıca kontrast ve keskinliği bozar. Gürültü özellikle düşük kontrastlı objelerde teşhisi zorlaştırarak görüntü kalitesini bozar ve görüntüde obje ile ilgisi olmayan küçük benekler halinde ortaya çıkar. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi artan gürültü, kenar keskinliğini ve obje kontrastını bozmaktadır.



Şekil 2.14 Aynı objenin farklı gürültü özelliğine sahip 3 izometrik görüntüsü (Bushberg, 2002)

2.7.3.1 Gürültü kaynakları

Dijital radyolojide gürültü kaynakları üç ana başlıkta incelenir. Bunlar; yapısal, kuantum ve elektronik bileşenlerdir:

- *Yapısal gürültü (çarpımsal)*: Dedektör kristalinde x-ışınına karşı bölgesel hassasiyet sonucu oluşan uzaysal kazanç farklılıkları, heel etkisi, bozuk dedektör elementi, zamana bağlı dedektördeki zedelenmelerin meydana gelmesi, hastadan saçılan fotonları durdurmada kullanılan gridin oluşturduğu artefaktlar gibi etmenler görüntüleme sisteminde yapısal gürültüye neden olur. Dedektörde yapılacak olan kazanç (gain) kalibrasyonu ile dedektördeki fosfor kalınlıklarının, dedektörün bölgesel hassasiyet değişiminin ve sinyal yükselticideki farklılıkların görüntüde neden olduğu homojenite bozukları düzeltilir. Böyle bir kalibrasyon, yapısal gürültünün iyileşmesini sağlar.
- *Kuantum gürültü (Poisson)*: X-ışını miktarı tarafından belirlenen gürültünün en önemli bileşenidir. Doğrudan kullanılan foton sayısı ile orantılıdır. Kuantum gürültüsünü azaltmak için poisson istatistiğine göre x-ışın miktarını arttırmak gerekmektedir. Fakat bu durumda hastanın alacağı dozda artacaktır. Bunun için kullanılan fotonların maksimum verimle dedekte edilmesi istenir. Bir x-ışını görüntüleme sisteminin kuantum sınırlı olabilmesi için görüntüleme zinciri boyunca kullanılan kuantum sayısı, dedekte edilen x-ışın kuantum sayısından az olmamalıdır. İdeal dedektörler x-ışın kuantum sınırlıdır.
- *Elektronik gürültü (toplamsal)*: Elektronik gürültü, sistemin bütününde çalışmakta olan tüm elektronik bileşenlerin görüntüde yarattığı bozulmadır. Bu

tür istenmeyen sinyaller donanımsal olarak yok edilemez ancak offset kalibrasyonu ile görüntüdeki etkisi en aza indirilebilir.

Görüntüleme yönteminde, fotonların görüntüde oluşturacağı kendi rastgele dağılımı kuantum gürültüsüne neden olur. Her bir x-ışın demetine ait kuantum yapısı kendi kuantum gürültüsünü oluşturur. Küçük görüntü alanında bir noktanın başka bir noktaya olan foton dağılımındaki değişimler kuantum gürültüsünün miktarını belirler. Çünkü radyasyonun rastgeleliği yani istatistiksel dalgalanmadan dolayı bir noktaya düşen birkaç foton kümesinin oluşturduğu dağılım başka noktada eşit olmayabilir.

Tanısal radyolojide görüntü kalitesi ile radyasyon dozu arasında doğrudan ilişki vardır. Hasta dozu düşük tutulduğunda, görüntü kalitesi sistemin kuantum gürültüsünden uzaklaşmasıyla ve elektronik gürültü katkısının artmasıyla bozulmaya başlar. İki küçük görüntü alanı Şekil 2.15'deki gibi alt alanlara bölündüğünde ve farklı miktarda foton akısına maruz bırakıldığında bu tür küçük alanlardaki dalgalanmalar ortalama değere yakın bir değerde kümelenmekte, artan foton sayısı ile gürültünün doza bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

108	94	114
90	102	95
89	103	105

100 Foton
±10 Sapma
10% Gürültü

10111	9942	10098
9855	10071	10082
9918	10042	9881

10000 Foton
± 100 Sapma
1% Gürültü

Şekil 2.15 Kuantum gürültüsünün foton sayısına bağlı olarak değişimi

Bu nedenle foton dalgalanmalarında metrik olarak standart sapmanın kullanılması uygun olmaktadır. Standart sapma istatistiksel analizlerde kullanılan nicel bir ölçüt olup, verilerin ortalamaya göre yayılımını verir. Denklem 1'deki σ , standart sapmayı, Denklem 2'deki σ^2 varyansı temsil etmektedir.

$$\sigma = \sqrt{N} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = N \quad (2)$$

Ölçümdeki rastgelelikten kaynaklı dalgalanmalara ait bilgiyi veren standart sapmanın ölçülmesiyle deneysel kesinlik ile ilgili bilgi elde edilir.

Poisson istatistiğine göre gürültü piksel başına düşen foton sayısının (N) karekökü ile orantılıdır. Bu noktada Gauss ve Poisson dağılımları arasındaki farkın üzerinde durulması gerekmektedir. Gauss dağılımının ortalama değer ve standart sapma olmak üzere iki tane bağımsız parametresi vardır. Poisson dağılımında sadece tek bir bağımsız parametre vardır ve bu ortalama değerdir (Bor, 2002). Bu nedenle görüntüde foton sayısını değiştirmekle aynı zamanda foton sayısı ile doğrudan orantılı standart sapma değiştirilmiş olur ve görüntüdeki kuantum gürültü kontrolü daha kolay olur.

İnsan gözünün algıladığı gürültü ise bağıl gürültüdür(RSD, Rölatif Standart Sapma). Bağıl gürültü ise (σ/N) şeklinde ifade edilir. Foton sayısı ile bağıl gürültünün azalma durumu Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Bağıl gürültünün sayım ile azalması

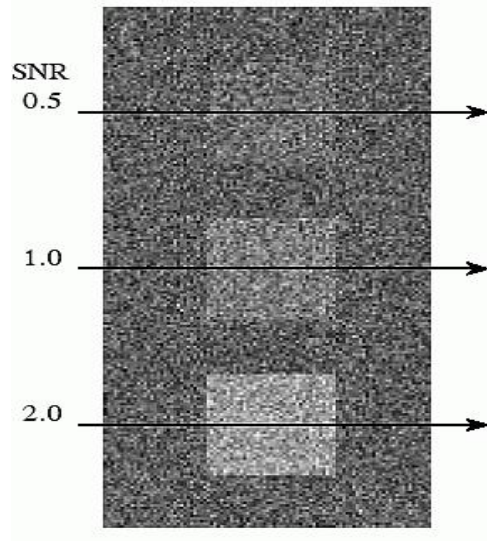
Foton/Piksel	Gürültü ($\sigma = \sqrt{N}$)	Bağıl Gürültü(σ/N)	SNR(N/σ)
10	3.2	32	3.2
100	10	10	10
1000	31.6	3.2	31.6
10000	100	1	100
100000	316.2	0.3	316.2

2.7.4 Sinyal gürültü oranı(Signal to noise ratio, SNR)

Önemli bir görüntü kalite ölçütü olan SNR (Sinyal gürültü oranı) büyük ölçekli nesnelere için gürültüyü ifade eder. Bağıl gürültünün tersi olan SNR aynı şekilde piksel başına düşen foton sayısının (N) karekökü ile orantılıdır. (Çizelge 2.3) SNR formülasyonu Denklem 3'te verilmiştir.

$$SNR = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N} \quad (3)$$

Denklem 3’de görüldüğü gibi artan foton sayısı (N) ile SNR, \sqrt{N} katları şeklinde değişmektedir. Artan foton sayısı ile hasta dozu artacağı için foton sayısını iki katına çıkarmak SNR’de $\sqrt{2}$ kat artışa neden olur. SNR’deki 2 kat artış ise hasta dozunda 4 kat artışa neden olur. Aynı anda kontrast ve gürültü bilgisi veren SNR’nin artması kontrastın iyileşmesini mümkün kılar. Şekil 2.16’da SNR ‘nin kontrast üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 2.16 Artan SNR’nin kontrasta etkisi (www.dspguide.com)

Rose Model’e göre SNR’nin 5’ten küçük olduğu durumlarda bir objenin lezyon dedeksiyonuna ait kesinlik %100’den düşük olmaktadır.

2.7.5 Hayalet görüntü

Hayalet görüntü arka arkaya alınan görüntülerde, bir önceki görüntünün oluşturduğu artık görüntüdür. Işınlamalar arası süre artık görüntünün miktarını belirler. Alınan iki görüntü arasındaki süre ne kadar azalırsa bu etki artar. Bu durum ışınlamanın

durmasından sonra fosfordaki elektron tuzaklarındaki yüklerin tam boşalmadan diğer ışınlamaya geçilmesiyle açığa çıkar. Yüksek doz incelemelerinin olduğu ve floroskopide sürekli ışınlama modundaki dinamik görüntülerde hayalet görüntü etkisi yüksektir. Dinamik görüntüleme birim saniyede alınan görüntü sayısının artmasıyla hayalet görüntü faktörü de artar. Bir saniye periyodlarla alınan görüntülerde hayalet görüntü faktörü, dolaylı dönüşümlü sistemlerde %0.3 iken, doğrudan dönüşümlü sistemlerde %6'dır (Spahn, 2005).

2.7.6 Sinyal transfer fonksiyonu(STP)

Gürültü ölçümlerini karşılaştırılabilir bir çerçevede incelemek ve bir sistemin sahip olduğu görüntü kalitesini başka sistemlerle sayısal olarak karşılaştırmak için doğrusal sistem varsayımına dayanan yöntemler kullanılabilir. Bunun için dijital radyoloji sistemlerinde doza karşılık sistemin piksel değerlerinin davranışı yani sinyal transfer fonksiyonu elde edilir. Bazı sistemlerin piksel değerleri dozun artmasıyla doğrusal artarken, bazı sistemlerde bu davranış logaritmik veya üstel olabilmektedir. Böyle sistemlerde elde edilen STP fonksiyonunun tersinin görüntüye uygulanmasıyla piksel değerlerinin doz bilgisine dönüştürülmesi sağlanır. Farklı sistemlere ait sinyal transfer fonksiyonları Denklem 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

$$PV_{lin} = \alpha + bK \rightarrow K = \left(\frac{PV - \alpha}{b} \right) \quad (4)$$

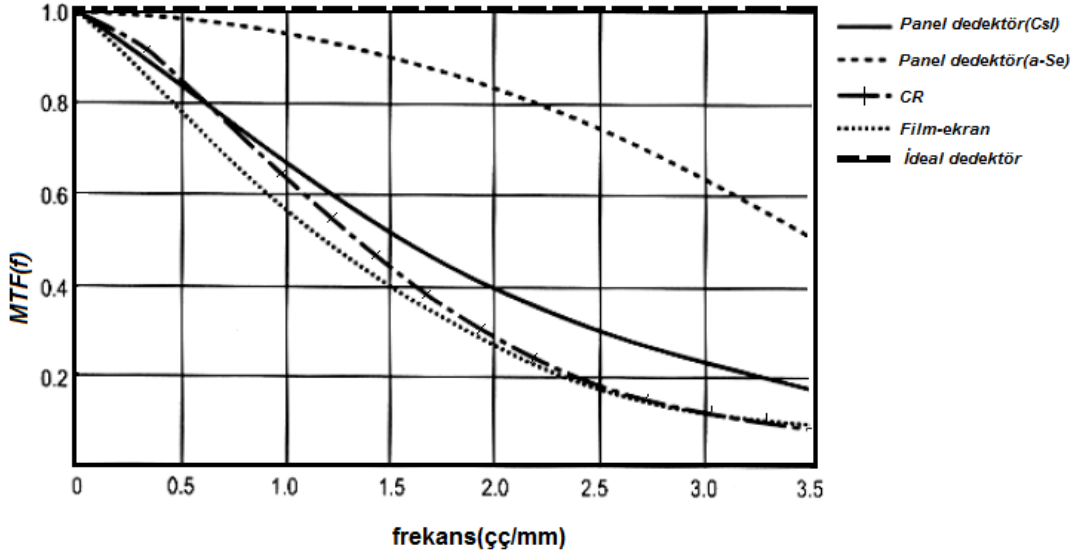
$$PV_{log} = \alpha \ln(K) + b \rightarrow K = \exp\left(\frac{PV - b}{\alpha} \right) \quad (5)$$

$$PV_{üstel} = \alpha K^b + c \rightarrow K = \left(\frac{PV - c}{\alpha} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (6)$$

Denklemlerde a, b, c değerleri katsayıları, PV değeri, piksel değerini, K ise dedektör hava kerma değerini temsil etmektedir (IPEM Report Number 32, Part VII 2010).

2.7.7 Modülasyon transfer fonksiyonu(MTF)

MTF, sistem girişinde verilen farklı frekans ve genliklerdeki sinüs fonksiyonlarının, sistem çıkışında değişen genliklerini frekans ortamında ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Artan frekanslarda, sistemin giriş fonksiyonuna uyguladığı etkiler neticesinde genliklerde azalma meydana gelir ve MTF düşer. MTF, sistemin elde ettiği sinyali ne kadar koruyabildiğini gösterir. İdeal sistemlerin MTF eğrisi tüm frekanslarda 1'e eşittir. Bu bütün frekanslardaki objelerin olduğu gibi görüntülediği anlamına gelir. Farklı sistemlere ait MTF eğrisi Şekil 2.17'de verilmiştir.

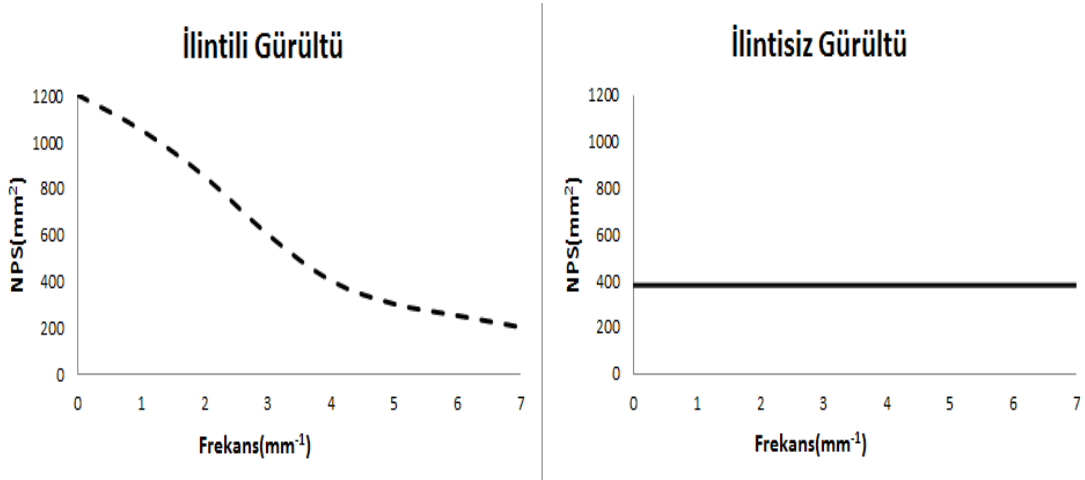


Şekil 2.17 Farklı sistemlere ait örnek MTF eğrileri(Bor, 2002)

MTF eğrisi sistemin ayırma gücü performansı hakkında bilgi verir. MTF ne kadar yüksek frekanslara uzanıyorsa sistemin ayırma gücü o kadar iyidir. Eğrinin sıfır genliğe sahip olduğu frekans sistemin ayırma gücü sınırını (Nyquist frekansı) verir (Olğar, 2004).

2.7.8 Gürültü güç dağılımı(NPS)

Sadece görüntüden seçilen ilgi alanındaki piksellerdeki sinyalin varyansına bakmak gürültünün karakteristiği hakkında bilgi vermemektedir. Görüntüde gürültünün daha ayrıntılı ifadesi yani frekans uzayında genlik değişimleri, gürültü güç dağılımı($NPS(f)$)ya da başka ifade ile Wiener spektrumunun ölçülmesiyle elde edilir. NPS görüntüdeki farklı frekanslardaki gürültü varyansını temsil eder. Bu tanıma göre NPS'in integrali görüntüdeki toplam gürültü varyansına eşittir. Gürültünün frekans ortamında incelenmesi ile görüntüdeki bir noktaya ait gürültünün bir başka noktada bağlı olması gibi oluşacak ilintili (correlated) gürültü ancak gürültü güç spektrumu ile anlaşılır. Bu durum gürültü güç spektrumunda yüksek frekanslarda bir azalma olarak açığa çıkar. İlintisiz (uncorrelated) olma durumu ise gürültünün frekansla değişmeyen davranışı ile açıklanır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 İlintili ve ilintisiz gürültü güç dağılımları

İki boyutta gürültü güç dağılımı (NPS) homojen alınan görüntünün küçük alanlara bölünmesiyle ve her bir bölgenin iki boyutta fourier transformunun alınmasıyla elde edilir. İki boyutta gürültü güç dağılımının formülasyonu Denklem 7'de verilmiştir.

$$NPS(f_x, f_y) = \lim_{N_x N_y M \rightarrow \infty} \frac{\Delta x \Delta y}{M N_x N_y} \sum_{s=1}^M \left| \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} I[(x_i y_i) - S(x_i y_i)] e^{-2\pi i(f_x x_i + f_y y_j)} \right|^2 \quad (7)$$

Burada f_x, f_y , x ve y yönündeki frekans değerini, N_x, N_y yatay ve düşey yöndeki piksel sayısı, $\Delta x, \Delta y$ yatay ve düşey yöndeki piksel boyutu, M gürültü güç dağılımının kaç ilgi alanında hesaplanıp ortalandığını göstermektedir. $I(x_i y_i)$ gerçek görüntüdeki x_i, y_i noktasındaki pikselin sayısal değeri, $S(x_i y_i)$ gerçek görüntüdeki düşük frekansta temsil edilen homojenite bozuklukları ve heel etkisinin görüntüden çıkarılması için görüntüye uygulanan alçak geçirgen filtrenin x_i, y_i noktasındaki piksellerinin sayısal değeridir. Normalize Gürültü Güç Dağılımı (NNPS) ise elde edilen fonksiyonun doza normalize edilmesiyle bulunur. NNPS'in integrali görüntüdeki bağıl gürültünün karesinin toplamına eşittir (Olğar, 2004).

2.7.9 Dedeksiyon kuantum etkinliği(DQE)

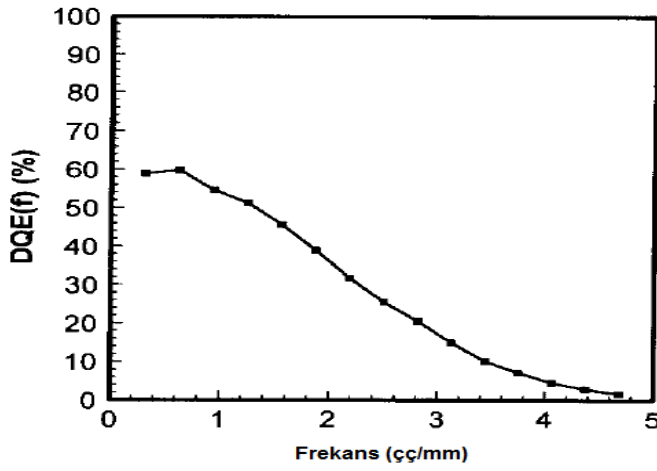
Sistemin SNR performansını incelemede dedeksiyon kuantum etkinliği (DQE) kullanılır. DQE dedektör performansı hakkında bilgi verir. DQE görüntü sisteminin algıladığı x-ışın fotonlarının ne kadarını görüntü oluşturmada kullandığının frekans ortamındaki bir ölçüsüdür ve kabaca sistemin çıkışındaki SNR^2 'nin girişindeki SNR^2 'sine oranıdır. Dedeksiyon kuantum etkinliği formülasyonu Denklem 8'te verilmiştir.

$$DQE(f) = \frac{SNR_{çıkış}^2(f)}{SNR_{giriş}^2(f)} \quad (8)$$

İdeal sistemlerde DQE tüm frekanslarda 1 veya %100'dür. Fakat gerçek dedektörde x-ışın dedeksiyonundaki kayıplar ve dedektördeki gürültü kaynakları sebebiyle DQE 1'den küçüktür. Örnek bir DQE eğrisi Şekil 2.19'da gösterilmiştir. DQE'nin ölçümü deneysel ölçümler sonucu elde edilen MTF ve NNPS eğrilerinin kullanılmasıyla elde

edilir. DQE, tek boyuttaki MTF ve NNPS, NNPS'in alındığı dedektör hava kerma (DAK) değeri X , dedektörde birim alan (mm^2) ve birim doz başına düşen foton sayısı q ($\frac{\text{foton}}{\text{mm}^2 \text{uGy}}$), nun Denklem 9'daki formülasyonda kullanılmasıyla elde edilir.

$$DQE(f) = \frac{MTF^2(f)}{NNPS(f)qX} \quad (9)$$



Şekil 2.19 Örnek bir DQE eğrisi

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Ölçümlerde Kullanılan X-ışın Sistemleri

Gürültü ölçümleri, Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de bulunan radyoloji, mamografi ve floroskopi sistemlerinde yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital radyoloji sistemleri

Jeneratör Markası	GE Silhouette VR	Sedecal SH-80	Digital Diagnost
Jeneratör Tipi	3 fazlı	Yüksek frekans	3 fazlı
Güç	50kW 24V 50/60Hz	80kW	80kW/400V
kVp/mA	40-150kV, en fazla 630mA	En fazla 150kV, 500/1000mA	En fazla 150kV, 600mA
X-Işın Tüpü Markası	Varian RAD-12	Toshiba E7869X	Optimus 80
Odak Nokta Boyutu(mm)	0.6/1.2	0.6/1.2	0.6/1.2
Doğal Filtrasyon	>2.5mm Al @80kVp	2.0mm Al @75kVp	2.5mm Al @75kVp
Dedektör Marka	Carestream DRX-1C	Toshiba FDX4343R	Trixiell Pixium 4600
Ağ Gücü	Kablosuz 802.11n şarj edilebilir batarya	Kablolu	Kablolu
Dönüştürme Fosforu	CsI(Tl)	CsI(Tl)	CsI(Tl)
Dedektör Boyutu	35x43 cm	43x43 cm	43x43 cm
Piksel Matrix	3072x2560	3008x3072	3001x3001
Piksel Aralığı	139 µm	143 µm	143 µm
A/D Dönüşümü	14-bits	14-bits	14-bits
Görüntü Hazırlanması	~6 sn	~5 sn	~7 sn
Grid Tipi	Sabit	Sabit	Hareketli
Grid Çizgi/cm	60 çizgi/cm	40 çizgi/cm	36 çizgi/cm
Grid Oranı	10:1	12:1	12:1
Grid Odak Mesafesi (F₀)	100	100	110
Grid Yüzey Kaplaması	Alüminyum	Alüminyum	Karbon Fiber
Grid Şeritler Arası Malzeme	Alüminyum	Alüminyum	Organik Fiber

Çizelge 3.2 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital mamografi sistemi

Jeneratör Markası	Siemens
Jeneratör Tipi	1-2 faz 50-60Hz
Güç	Yüksek Voltaj 5kW
kVp/mA	23kVp-35kVp, en fazla 400mAs
X-Işın Tüpü Markası	Siemens Mammomat 1000
Odak Nokta Boyutu(mm)	0.3/0.6
Anot/Filtre Kombinasyonu	Mo/Mo, Mo/Rh, W/Rh
Doğal Filtrasyon	30 µm Mo; 25 µm Mo/Rh; 50 µm W/Rh
Dedektör Marka	Inspiration
Ağ Gücü	Kablolu
Dönüştürme Fosforu	a-Se
Dedektör Boyutu	24x30cm
Piksel Matrix	2800x2082
Piksel Aralığı	85 µm
A/D Dönüşümü	16bit
Grid Tipi	Hareketli
Grid Çizgi/cm	31 lp/cm
Grid Oranı	5:1
Grid Odak Mesafesi	Doğrusal

Çizelge 3.3 Gürültü ölçümlerinin yapıldığı dijital floroskopi sistemi

Jeneratör Markası	CPI Indico
Jeneratör Tipi	3 fazlı
Güç	50kW, 100kHz
kVp/mA	En fazla 150kV, 25-600mA(Radyografi)
X-Işın Tüpü Markası	Varian RAD-12
Odak Nokta Boyutu(mm)	0.6/1.2
Doğal Filtrasyon	>2.5mm Al @80kVp
Dedektör Marka	PaxScan 2520V
Ağ Gücü	Kablolu
Dönüştürme Fosforu	CsI(Tl)
Dedektör Boyutu	19.5x24.4 cm
Piksel Matrix	1920x1536
Piksel Aralığı	(1x1-0.125 µm), (2x2-0250 µm)
A/D Dönüşümü	16bit
Görüntü Hazırlanması	-
Grid Tipi	Sabit
Grid Çizgi/cm	40lp/cm
Grid Oranı	10:1
Grid Odak Mesafesi (F0)	100
Grid Yüzey Kaplaması	Alüminyum
Grid Şeritler Arası Malzeme	Alüminyum

3.2 Doz Ölçümlerinde Kullanılan Dedektörler

Işınlanacak görüntü dozlarının belirlenmesinde Radcal Accu-Gold AGMS-D ve Radcal Accu-Pro 9096 (*RADCAL, Monrovia USA*) marka dedektör kullanılmıştır. Radcal Accu-Gold AGMS-D yarıiletken dedektör olup bilgisayar üzerinden yazılım ile ölçümler sağlanmaktadır. Radcal Accu-Pro ise 6 cc'lik iyon odasına sahiptir. Doz ölçümleri alındıktan sonra doz değerleri dedektörün o kilovoltajdaki kalibrasyon faktörleri ile çarpılmıştır.

3.3 Gürültü Analizi İçin Görüntülerin Alınması ve Kullanılan Filtreler

Gürültü analizi için radyolojik ve floroskopik incelemelerde IEC 61627'de tanımlı RQA-3, RQA-5, RQA-7, RQA-9 demet kalitelerinde, mamografik incelemelerde RQA-M1, RQA-M2, RQA-M3 demet kalitelerinde, grid kullanmadan homojen görüntüler alınmıştır. Bu homojen görüntülerden ham görüntü (RAW, for processed) formatında olanlar alınarak gürültü analizi yapılmıştır.

Görüntülerde hayalet görüntü etkisini azaltmak için görüntüler 1 dakikalık periyotlar halinde 30x30cm'lik kolimasyon alanları açılarak alınmıştır.

Dedektör hava kerma (DAK) değeri için sistemde ayarlanabilen minimum mAs değerinden başlanarak, görüntü alıcının doyuma ulaştığı doz sınırına kadar farklı DAK değerlerinde görüntü alınmıştır.

Doz ölçümleri bucky içerisinde yapılmış, doz ölçümlerinin bucky içerisinde yapılamadığı sistemlerde ise hava kerma (AK) değerleri görüntünün alındığı mesafeye ters kare ile düzeltilerek DAK değerleri belirlenmiştir. Gridli ölçümlerde, gridin çıkarılmadığı durumlarda gridin azalım faktörü belirlenmiş ölçülen AK değeri ile bu faktör çarpılarak gridli ölçümlerdeki DAK değeri belirlenmiştir.

Mamografide gridlerin çıkarılmaması nedeniyle DAK değerinin hesaplanması için elde edilen gridli görüntülere ait piksel değerleri hesaplandı ve gridli görüntülerin alındığı mAs değerlerine karşılık piksel değerleri çizdirildi. Eğrinin yanıtına göre denklem belirlendi ve aynı mAs değerlerinde alınmış gridsiz ölçümlerin piksel değerleri kullanarak gridli ölçümün alındığı yanıtın mAs değeri belirlendi ve gridli ölçümde gridsiz göre mAs'daki artış oranı hesaplandı. Bu mAs'daki artış oranı grid geçirim

faktörüdür (GTF). Dozun mAs ile değişimi doğrusal olması sebebiyle elde edilen GTF değeri gridsiz ölçümlerdeki dozlar ile çarpılarak gridli ölçümlerin DAK değeri hesaplandı (NHSBSP 2009).

Kazanç-offset kalibrasyonlarının ve gridli ölçümlerin yapıldığı radyolojik ve floroskopik incelemelerde RQA-7 demet kalitesi, mamografik incelemelerde ise RQA-M3 demet kalitesi kullanılmıştır.

İncelemelerde kullanılan gridlerin odaklı grid olması sebebiyle gridli ölçümler, odak - görüntü alıcısındaki mesafe, gridlere ait f_0 değerlerine ayarlanarak alınmıştır.

3.4 STP Ölçümü ve Görüntülerin Doğrusallaştırılması

Gürültü analizi için elde edilen homojen görüntülere doğrusal sistem teorisini uygulamak için doz değerlerine karşılık görüntüde 20x20mm'lik ilgi alanlarından (ROI) Image-J programıyla hesaplanan piksel değerleri çizdirilerek ve en uygun fonksiyon çakıştırılarak sinyal transfer fonksiyonu (STP) elde edilmiştir. Proje kapsamında geliştirilen MATLAB tabanlı STPtool yazılımı ile STP fonksiyonunun tersinin görüntüye uygulanmasıyla, görüntüdeki piksel değerleri doz bilgisine dönüştürülmüştür. Doğrusallaştırılmış görüntüler üzerinden MATLAB tabanlı yazılım ile 20x20mm'lik ROI seçilmiş ve buradan ortalama piksel değeri ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

3.5 Gürültü Kaynaklarının Belirlenmesi

Gürültünün karesi olan varyansların (σ^2) toplamı, hatayı verir.

$$\sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_q^2 + \sigma_s^2 = e^2 + q^2K + s^2K^2 \quad (10)$$

Burada K; dedektör üzerine düşen doz (DAK), q kuantum gürültüye ait katsayı, s yapısal gürültüye ait katsayı, e elektronik gürültüye ait katsayıdır. Literatürde gürültü katsayıların ölçülmesinde birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerdeki denklemler her ne kadar farklıymış gibi gözükse de hepsi Denklem (10)'daki bağıntıya

dayanır. Çalışma kapsamında, en genel ifade olan ve Marshall vd. (2011)'nin kullandığı Denklem 11 ve gürültüyü üstel bir fonksiyon olarak ifade eden Denklem 12 kullanılmıştır.

$$\sigma = \sqrt{e^2 + q^2K + s^2K^2} \quad (11)$$

Buradaki katsayıların belirlenmesiyle sistemin gürültü karakteristiği incelenir.

$$\sigma = aK^b \quad (12)$$

Buradaki b katsayısının 0.5'ten büyük/küçük olma durumuna göre baskın olan gürültü kaynağı belirlenir. Deneysel verilere Denklem 12'deki üstel fonksiyonun çakıştırılmasıyla elde edilecek b katsayısının 0.5'e eşit olması durumunda sistem davranışının kuantum sınırlı davranışa sahip olduğu, 0.5'ten büyük olması durumunda dedektörün kuantum sınırlı davranıştan ayrıldığı ve yapısal gürültünün baskın hale geldiği, 0.5'ten küçük olması durumunda ise sistemde ek elektronik gürültü kaynaklarının var olduğu yorumu getirilir. Literatürde kullanılan bağıl gürültünün (RSD) hesaplanması için ise Borasi vd. (2003)'nin kullandığı Denklem 13'deki bağıntı kullanılmıştır.

$$RSD = \frac{1}{K} \cdot (q\sqrt{K} + sK + e) \quad (13)$$

Buradaki q, s ve e ait katsayılar sırasıyla kuantum, yapısal ve elektronik gürültü kaynaklarına ait katsayılardır.

Doğrusallaştırılmış görüntülerden elde edilen ortalama sinyal (doz bilgisi) ve standart sapma değerleri ile standart sapma-DAK (μGy) eğrisi çizilmiş ve Denklem 11 ve Denklem 12'deki denklemler çakıştırılarak gürültü katsayıları belirlenmiştir. Bağıl gürültü (RSD) için ise ilgi alanından hesaplanan standart sapma değerine, aynı alandan elde edilen ortalama sinyal değeri oranlanmıştır. RSD-DAK eğrisi için Denklem 13'deki

bağıntı kullanılarak çakıştırma yapılmıştır. Çakıştırma işlemleri için Graphpad 5.03 yazılımı kullanılmıştır.

3.6 Normalize Gürültü Güç Spektrumunun Hesaplanması(NNPS)

Normalize Gürültü Güç Spektrumu hesabında gürültü kaynaklarının ölçülmesi için alınan homojen ışınlanmış kazanç ve offset kalibrasyonu yapılmış, gridli ve gridsiz görüntüler kullanılmıştır. NNPS'in hesabında NHS Breast Cancer Imaging Programı kapsamında geliştirilmiş olan OBJ_IQ Programı kullanılmıştır. Homojen alınmış ham görüntüler sonra Dicom formatında yazılıma yüklenmiştir. Daha önce belirlenmiş STP değerleri yazılıma girilmiş ve görüntü üzerinde 1024x1024 piksellik ROI'ler seçilerek bu alanlardaki Normalize Gürültü Güç Spektrumu hesaplanmıştır.

3.7 Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrisinde Gürültü Bileşenlerinin İncelenmesi

Bu yöntem ile frekans ortamında gürültü analizi yapılmıştır. Analiz için Ravaglia vd. (2009)'daki yöntem kullanılmıştır. Bunun için görüntülerin alındığı değişen DAK değerlerinde, homojen görüntülerden elde edilen NNPS eğrileri kullanılmıştır. NNPS'ler deki farklı frekanslardaki ($f=0,5 \text{ mm}^{-1}$, 1 mm^{-1} , 2 mm^{-1} , 3 mm^{-1} Nyquist) gürültü genlik değerleri DAK değerlerine çizdirilmiş ve Denklem 14 bu eğri ile çakıştırılmıştır.

$$NNPS(u, v; K) = NNPS_e \left(u, v; \frac{1}{K^2} \right) + NNPS_q \left(u, v; \frac{1}{K} \right) + NNPS_s(u, v) \quad (14)$$

Buradaki e, q ve s alt indisleri sırasıyla elektronik, kuantum ve yapısal gürültü kaynaklarına ait katsayıları, K ise DAK değerini temsil etmektedir. Frekans ortamındaki gürültü bileşenleri ve uzaysal ortamdaki gürültü bileşenlerinin davranışı arasında ilişki kurulabilmesi için aynı dozlardaki alınmış görüntülerden $\left(\frac{SD}{K} \right)^2$ değerlerine karşılık DAK değerleri çizdirilmiştir ve sonra bu eğri Denklem 15 ile çakıştırılmıştır.

$$\left(\frac{SD}{K}\right)^2 = \frac{\sigma_e^2 + \sigma_q^2 + \sigma_s^2}{K^2} = \left(\frac{e^2}{K}\right)^2 + \frac{q^2}{K} + s^2 \quad (15)$$

3.8 Farklı Grid Özelliklerin Gürültü Üzerindeki Etkisi

Bu çalışmada değişen grid özelliklerinin (grid frekansı ve oranı gibi) gürültü kaynakları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Çizelge 3.4'deki özelliklere sahip gridler kullanılmıştır.

Çizelge 3.4 Gridin gürültü üzerinde etkisinin incelenmesi için kullanılan gridlerin özellikleri

Grid markası	Grid Oranı,r	Grid Frekansı, f (lp/cm)	Grid Kaplaması	Grid ara malzemesi	Tp	Ts	Tt
JPI	10:1	70	Karbon	Alüminyum	%65.1	%9.9	%23.2
JPI	10:1	150			%63.6	%9.3	%23.9
DMC	8:1	103			%66.3	%22.4	%35.5
DMC	10:1	103			%64.8	%19.3	%32.2
DMC	12:1	103			%62.6	%17.4	%30.7

Çizelge 3.4'de belirtilen gridlerden JPI (f=70lp/cm), JPI (f=150lp/cm), DMC (f=103lp/cm) ölçümde kullanılmasıyla, değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. DMC (r=8:1), DMC (r=10:1) ve DMC (r=12:1) gibi gridlerin ölçümde kullanılmasıyla grid oranının gürültü bileşenlerinin üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ölçümün alındığı en büyük ve en küçük DAK değerleri tüm gridler için sabitlenmiştir. Ölçümlerde odak dedektör mesafesi 100cm'e ayarlanmıştır. Gridli gürültü ölçümlerinde filtre kullanılmamış fakat Tp (birincil geçirgenlik), Ts (Saçılan foton geçirgenliği) ve Tt (toplam foton geçirgenliği) ölçümlerinde kullanılan 20 cm saçıcı PMMA'lar kullanılmıştır. Yine aynı şekilde grid parametreleri belirlemede kullanılan 100 kVp tüp voltajı kullanılmıştır. Çizelge 3.4'de verilen her bir gride ait Tp, Ts ve Tt ölçümleri için IEC 60627 tanımlı geometriler ve yöntemler kullanılmıştır.

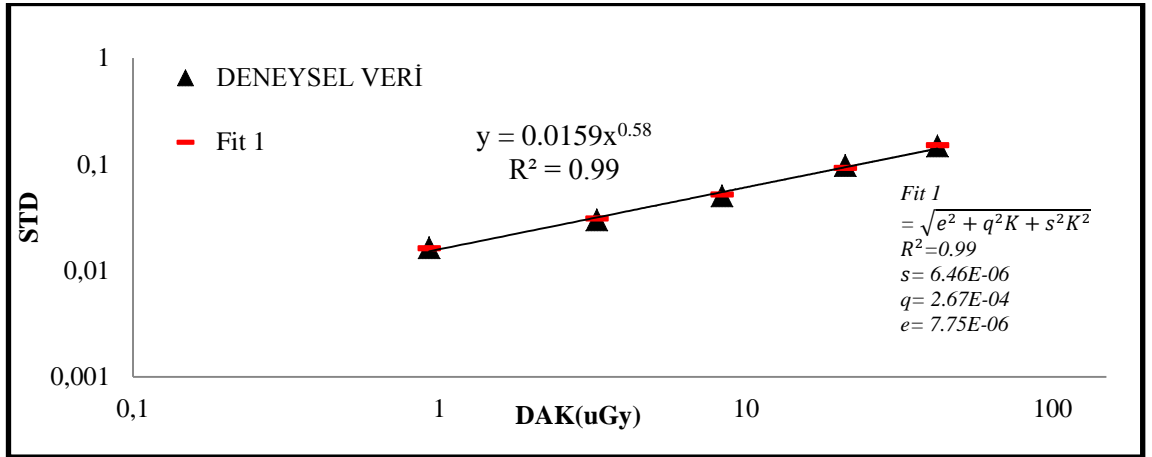
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde materyal ve yöntem kısmında anlatılan ölçümlerin sonuçları verilmiştir.

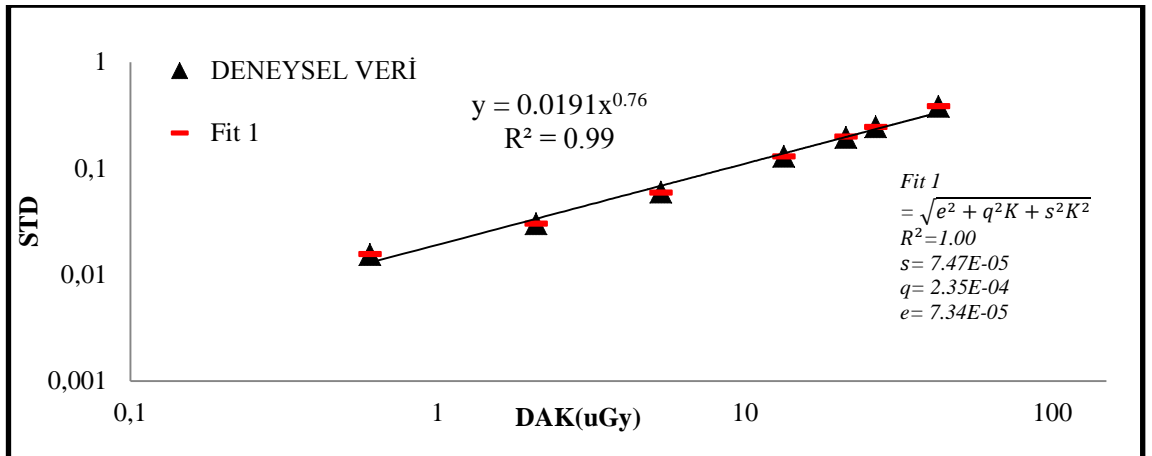
4.1 Standart Sapma –DAK Grafikleri Sonuçları

Bu eğriler için farklı dozlarda alınmış doğrusallaştırılmış homojen görüntülerden standart sapma değerlerine karşılık DAK değerleri çizilmiş ve Denklem 11 ve Denklem 12'deki denklemler bu eğriye çakıştırılarak gürültü katsayıları belirlenmiştir. Çizdirilen STD-DAK eğrilerinden sadece RQA-7 demet kalitesinde olanlar bu bölümde verilecektir. Diğer demet kalitelerine ait veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

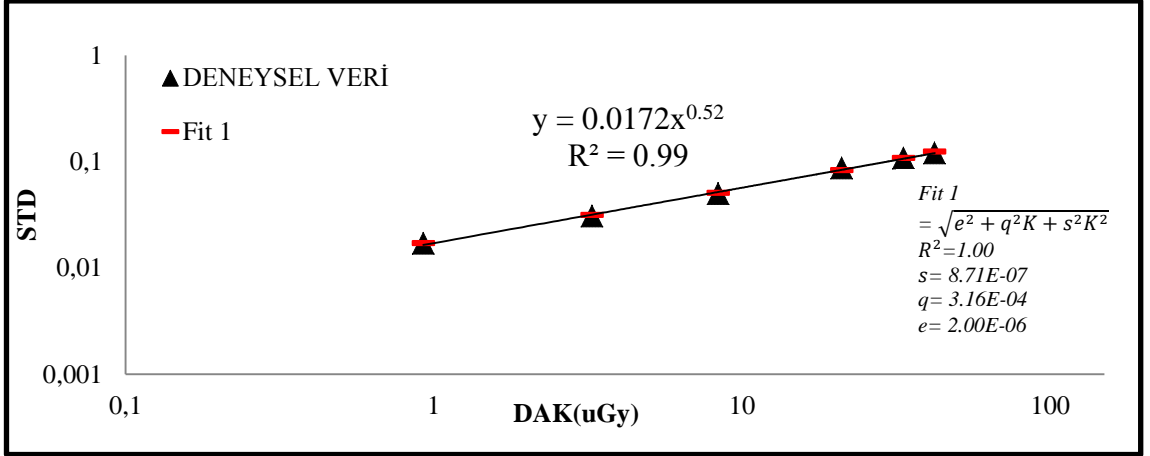
A) DRX-1C



Şekil 4.1 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.

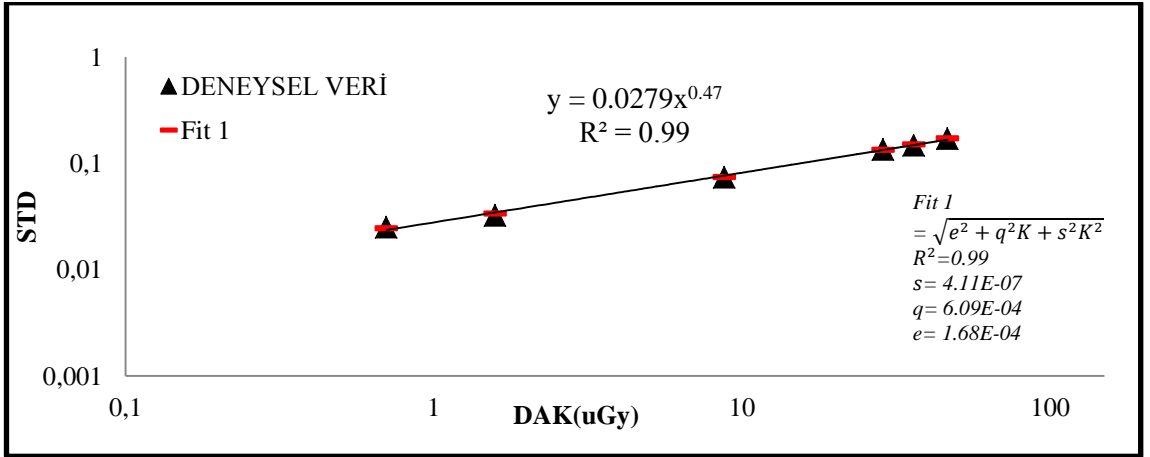


Şekil 4.2 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli(f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.

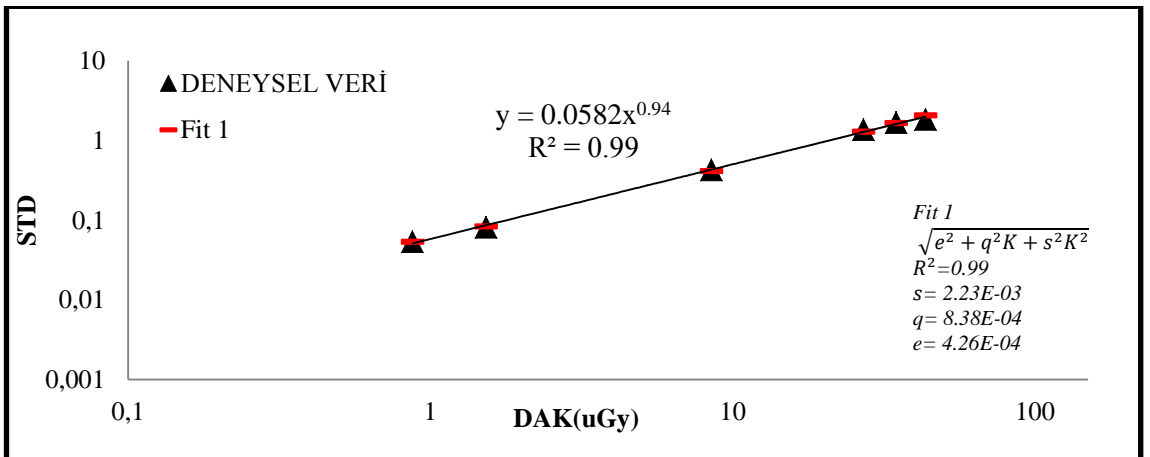


Şekil 4.3 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonu yapılmış STD-DAK eğrisi.

B) Toshiba FDX4343R

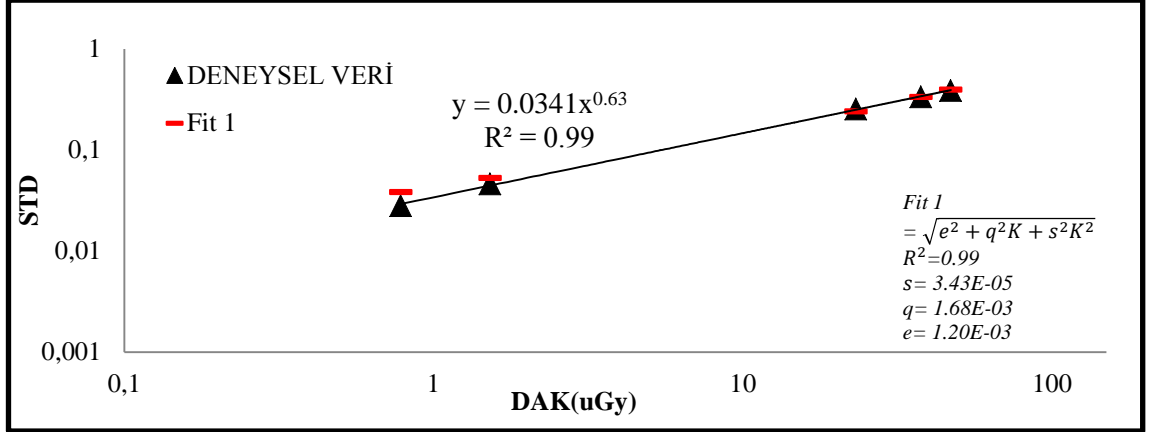


Şekil 4.4 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.

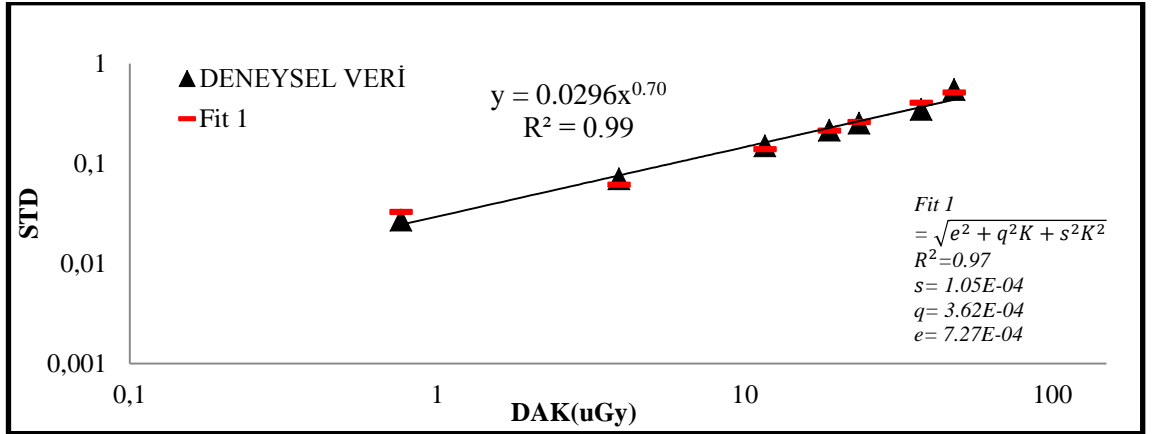


Şekil 4.5 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) STD-DAK eğrisi.

C) Trixell Pixium 4600

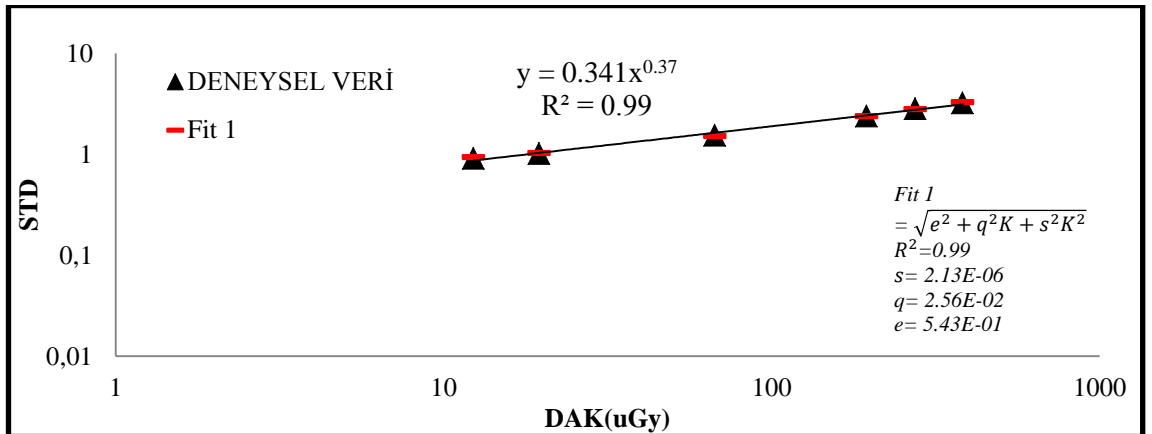


Şekil 4.6 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.

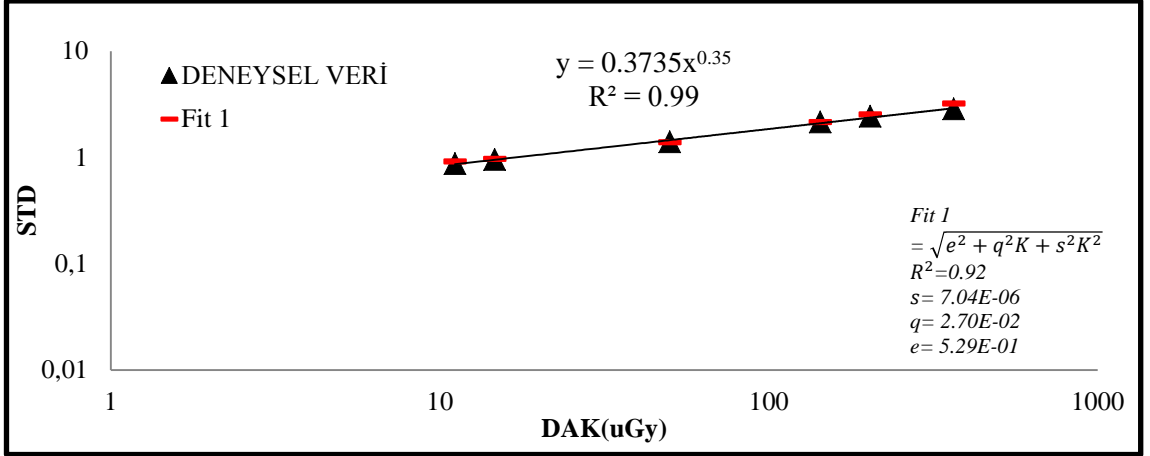


Şekil 4.7 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36 lp/cm) STD-DAK eğrisi.

D) Siemens Mamomat Inspiration

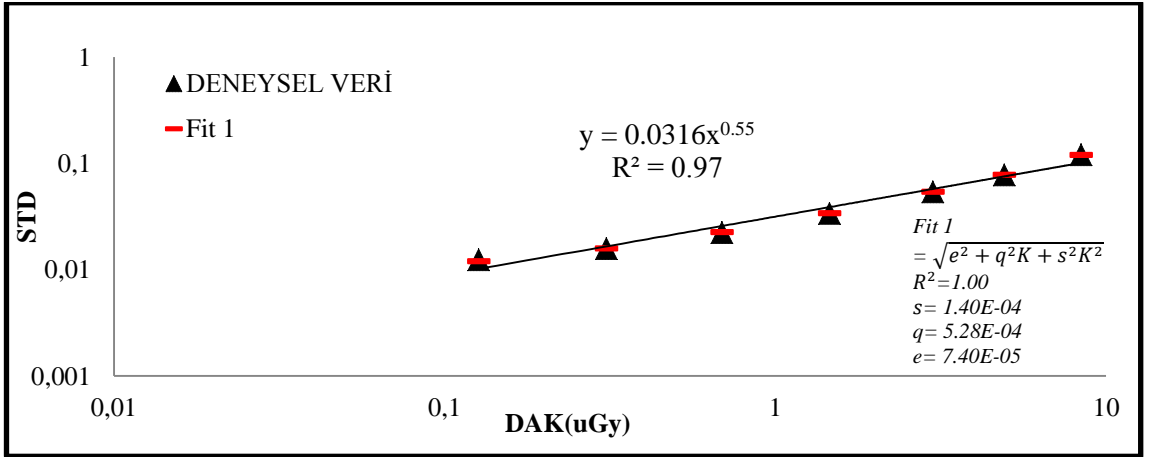


Şekil 4.8 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.

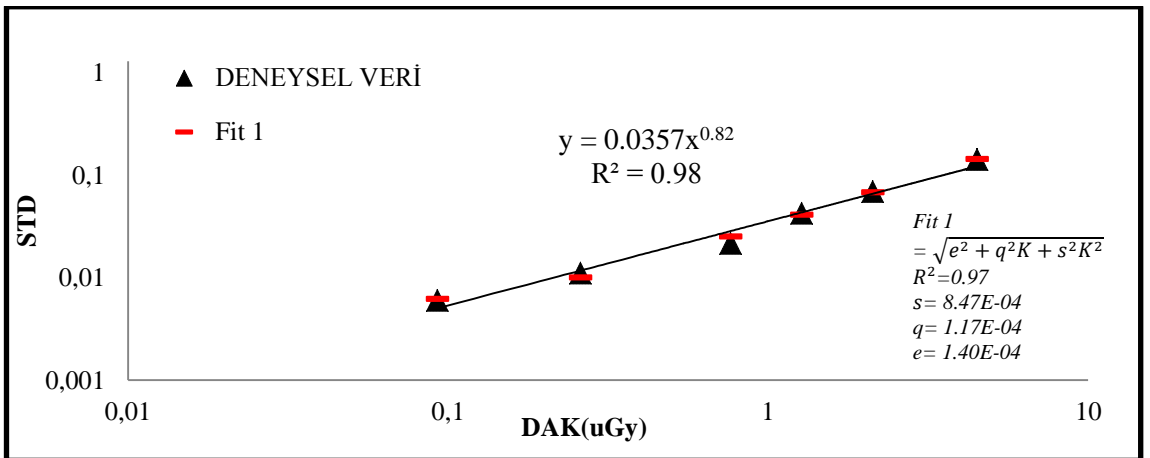


Şekil 4.9 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31 lp/cm) STD-DAK eğrisi.

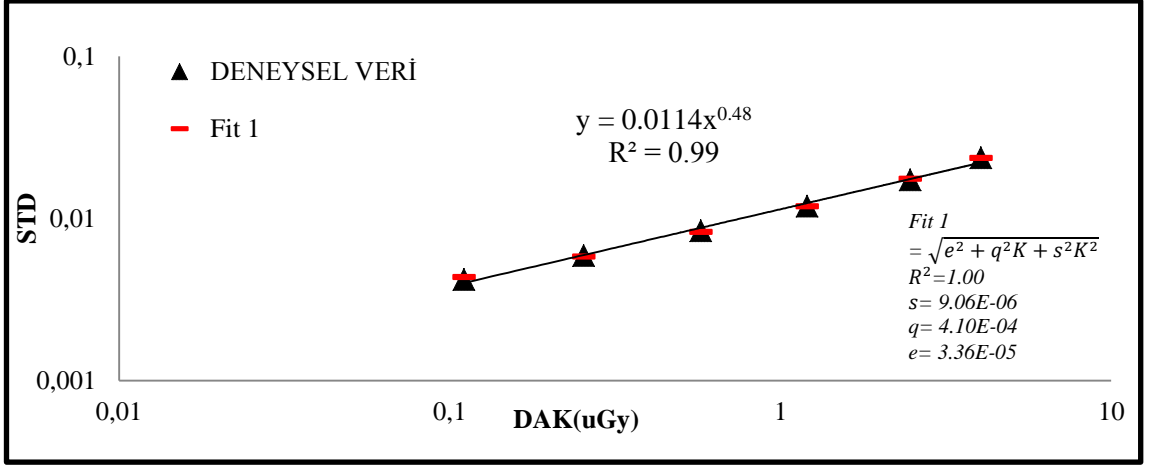
E) PaxScan



Şekil 4.10 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz STD-DAK eğrisi.



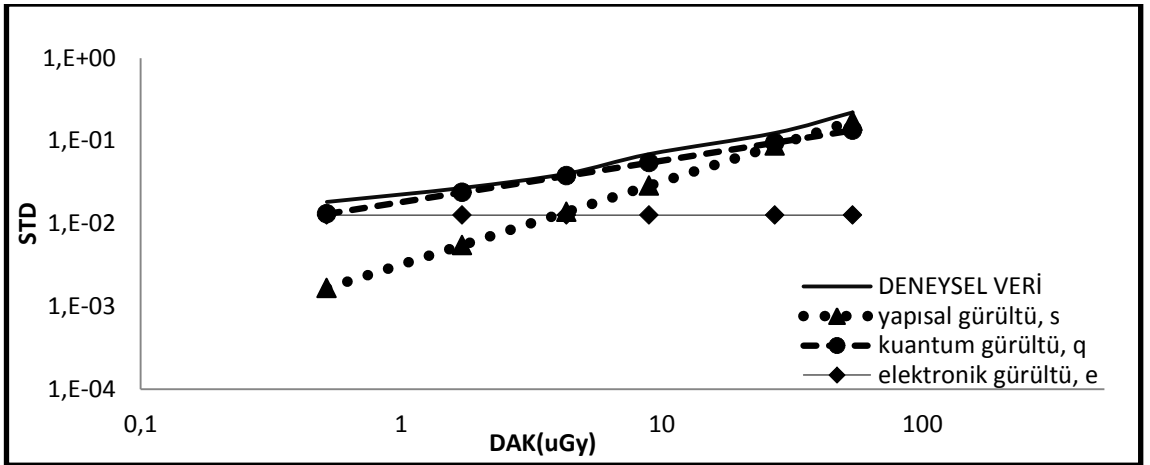
Şekil 4.11 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.



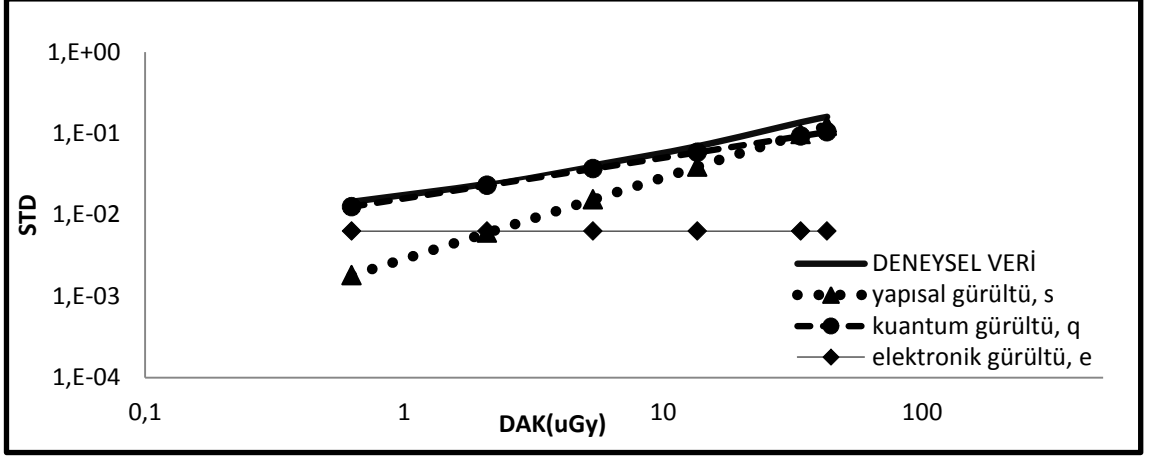
Şekil 4.12. PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonu yapılmış STD-DAK eğrisi.

STD-DAK eğrisine fit edilen denklemlerden elde edilen katsayılar ile herbir gürültü kaynağı farklı doz değerlerinde ayrı ayrı çizdirilmiştir ve toplam gürültünün içerisindeki gürültü kaynakları tek tek incelenmiştir.

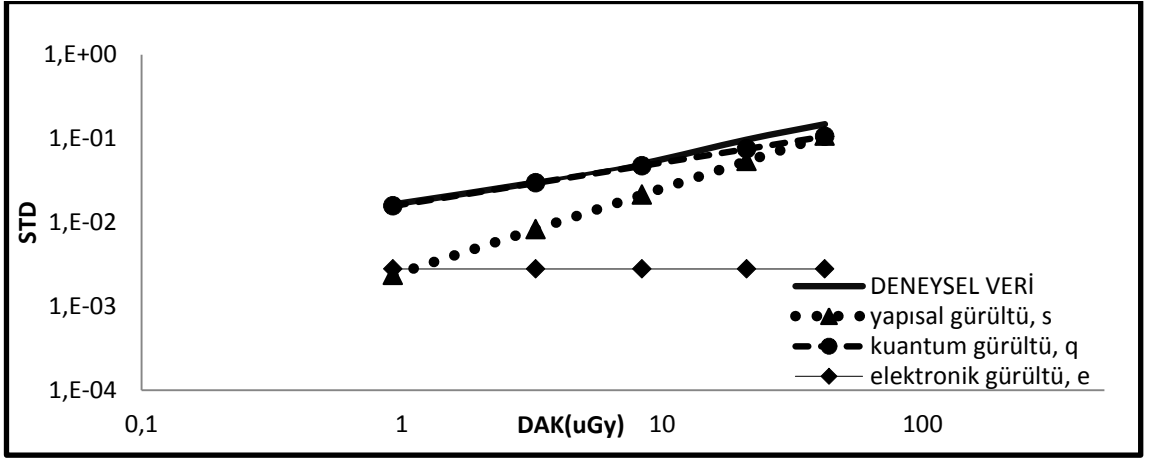
A) DRX-1C



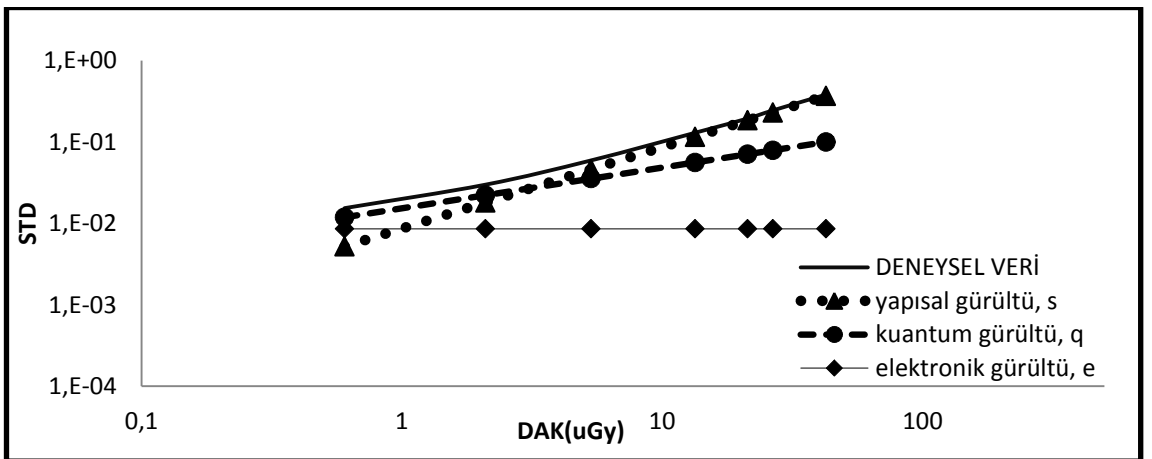
Şekil 4.13. DRX-1C sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.



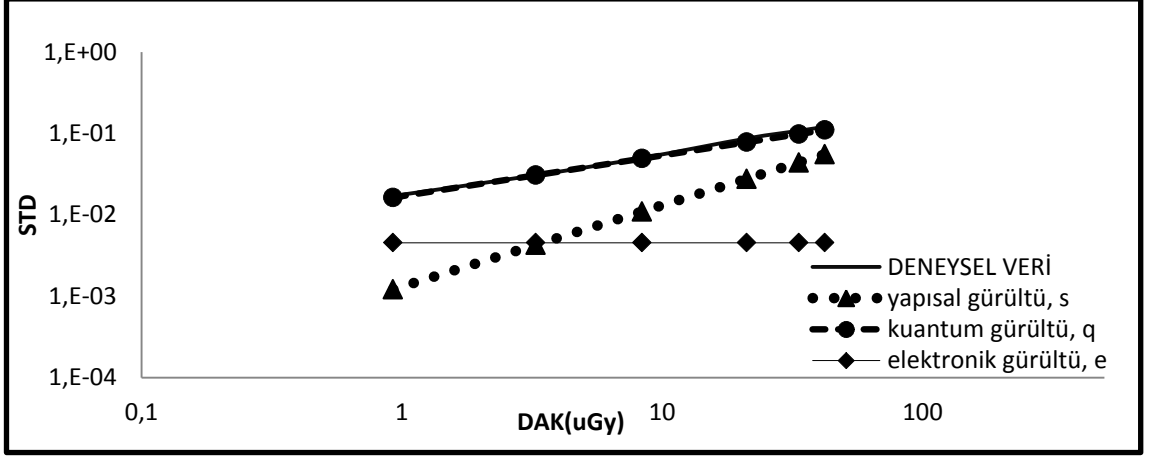
Şekil 4.14 DRX-1C sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.



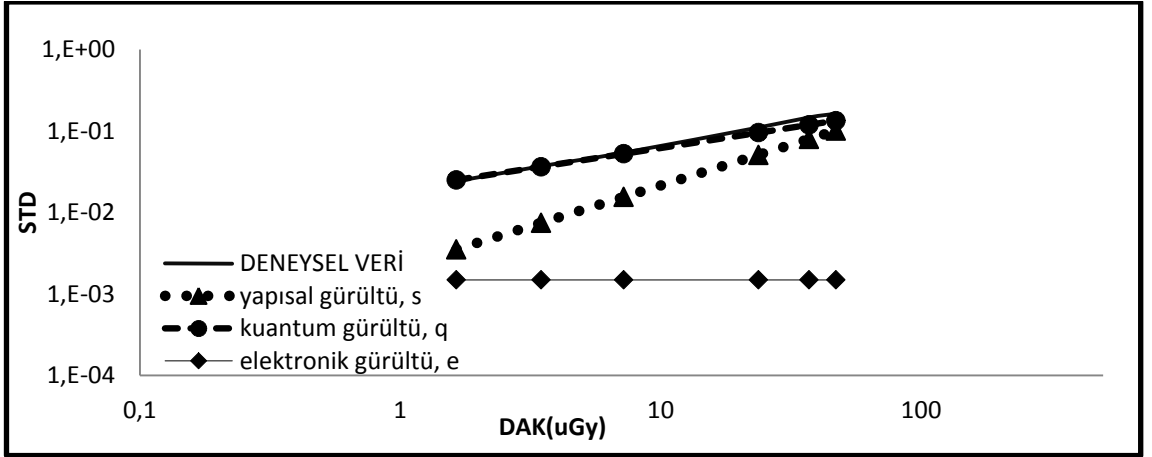
Şekil 4.15 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.



Şekil 4.16 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridli (f=60lp/cm) STD-DAK eğrisi.



Şekil 4.17 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış kazanç ve offset kalibrasyonlu STD-DAK eğrisi.



Şekil 4.18 DRX-1C sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gürültü kaynakları ayrıştırılmış gridsiz STD-DAK eğrisi.

4.2 Kesirsel Varyans-DAK Grafikleri Sonuçları

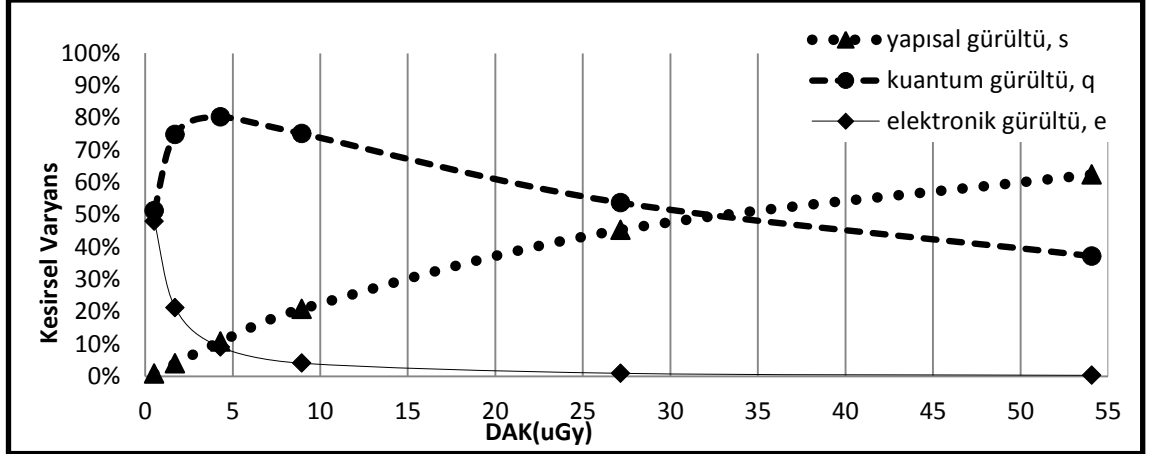
Bu bölümde doğrusallaştırılmış görüntülerden elde edilen standart sapma değerlerinin karesi alınarak varyans hesabı yapılmıştır. Sonra varyansa karşı DAK eğrisi çizdirilerek, Denklem 11'in karesi olan Denklem 14 bu eğriyle karşılaştırılmıştır.

$$\sigma_T^2 = \sigma_e^2 + \sigma_q^2 + \sigma_s^2 = e^2 + q^2K + s^2K^2 \quad (14)$$

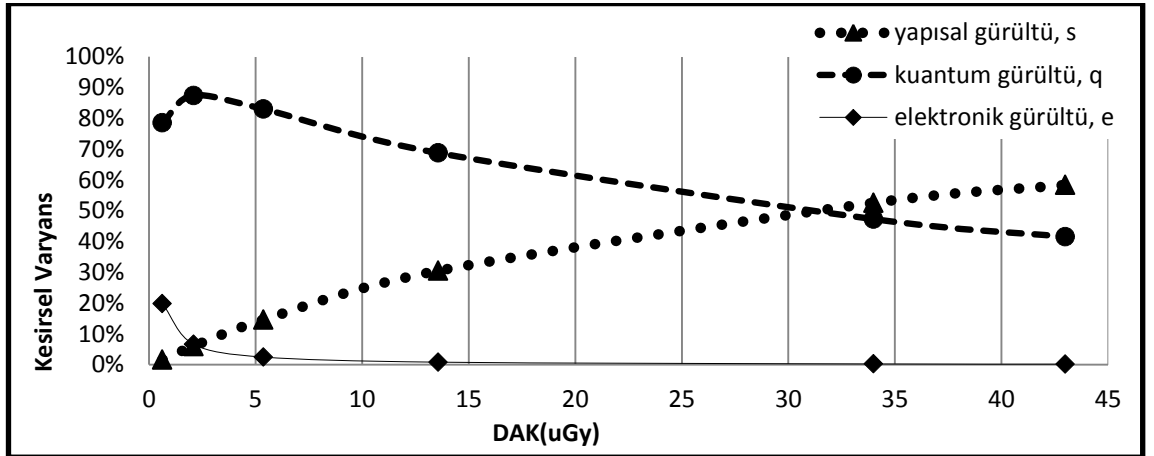
Denklem 14'ten elde edilen gürültü katsayılarının oluşturduğu varyans değerleri, toplam gürültü varyansına bölünerek yüzde kesirsel varyans değerleri bulunmuş (σ_e^2/σ_T^2),

(σ_q^2/σ_T^2), (σ_s^2/σ_T^2) ve bu değerler-DAK değerlerine karşılık çizdirilmiştir. Çizdirilen Kesirsel varyans-DAK eğrilerinden elde edilen kuantum sınırlı çalışma doz aralığı ait veriler izelge 4.1’de verilmiştir.

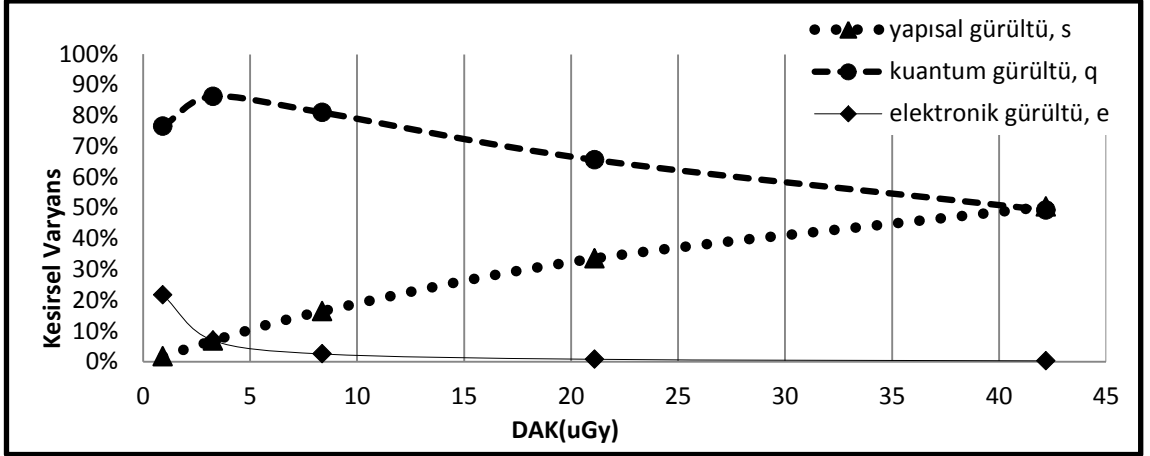
A) DRX-1C



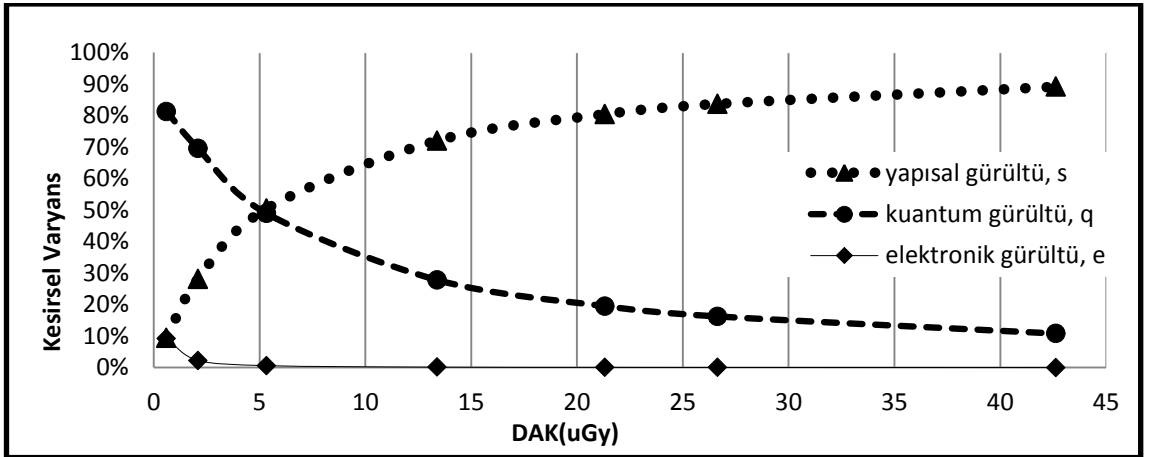
Şekil 4.19 DRX-1C sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



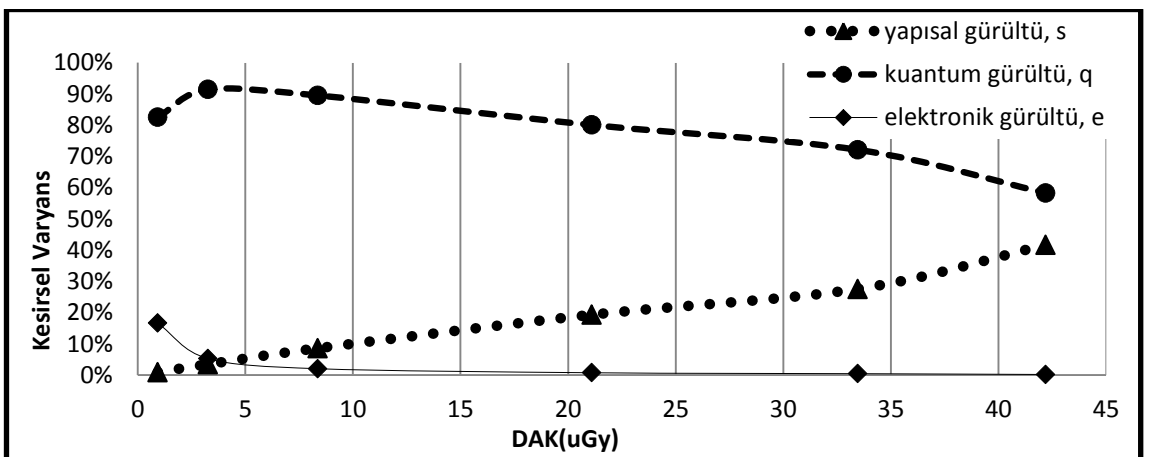
Şekil 4.20 DRX-1C sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



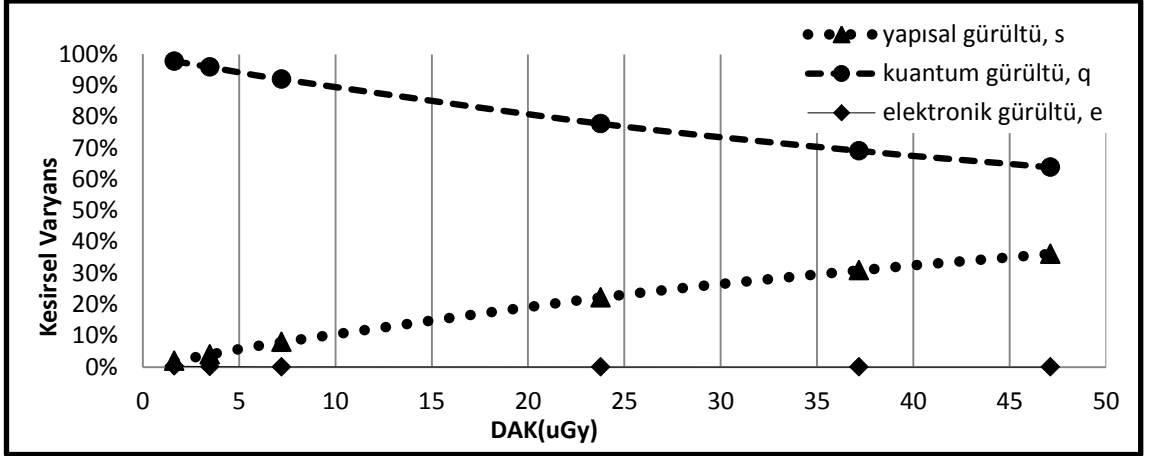
Şekil 4.21 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.22 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli($f=60\text{lp/cm}$) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

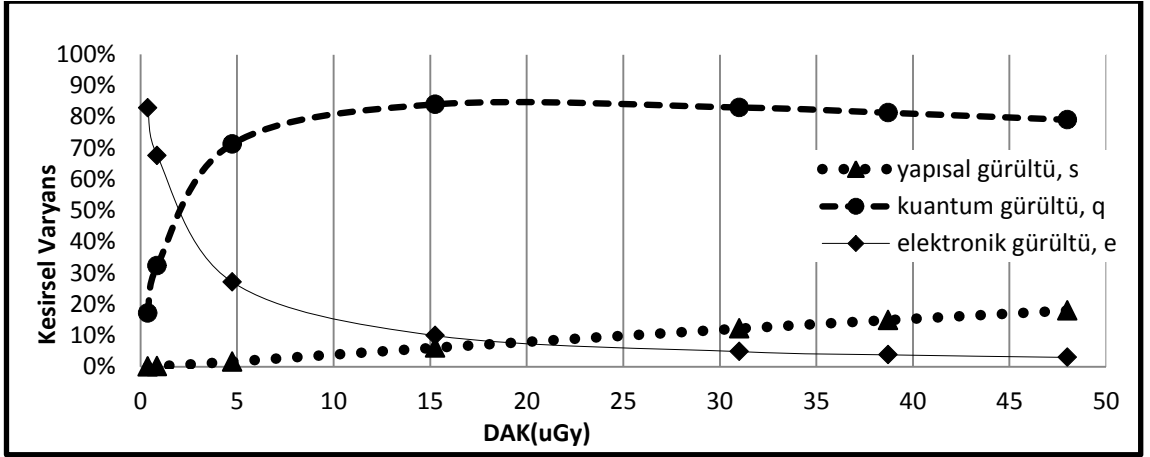


Şekil 4.23 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

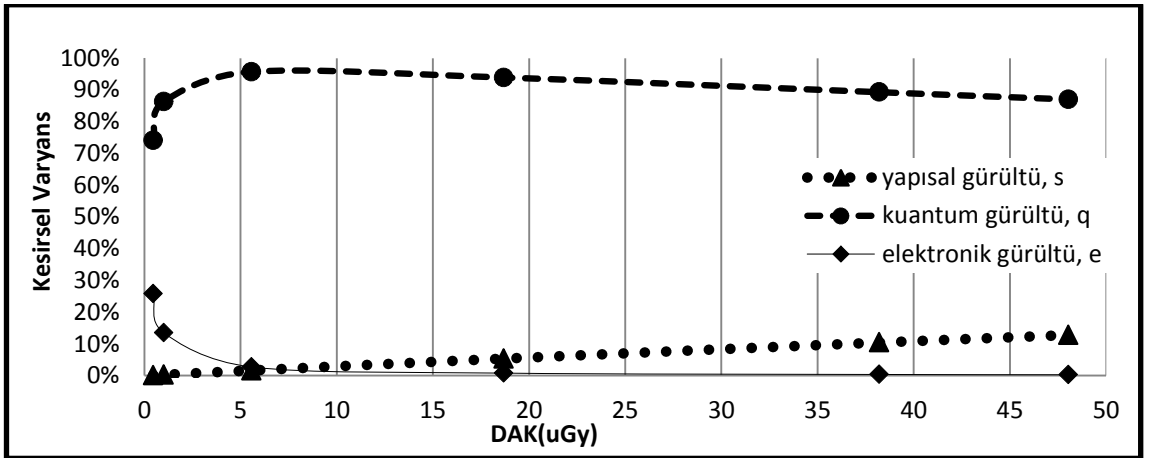


Şekil 4.24 DRX-1C sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

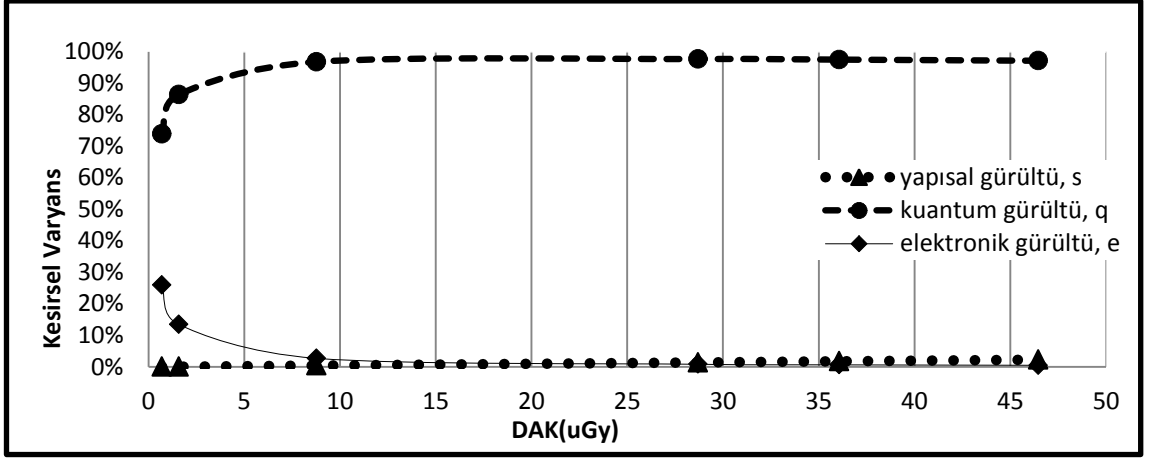
B) Toshiba FDX4343R



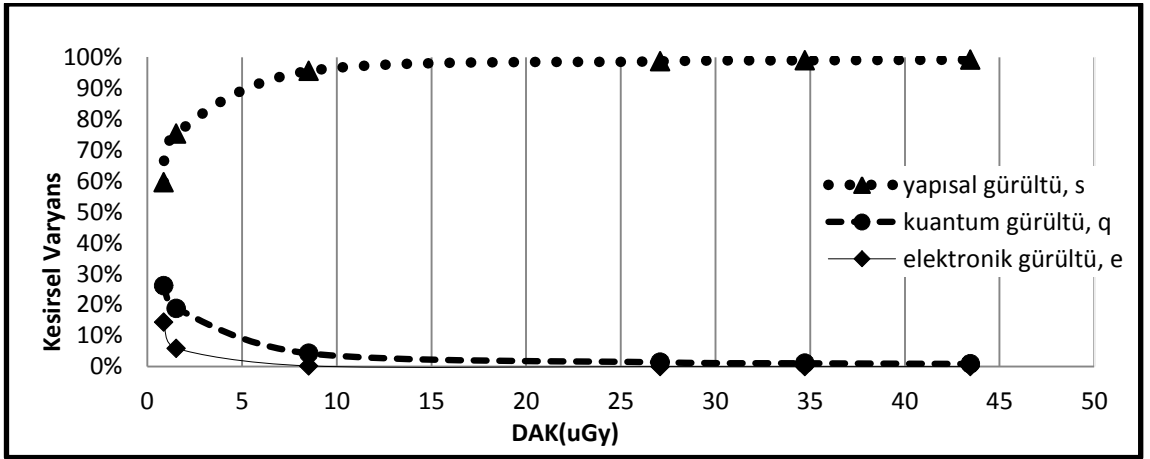
Şekil 4.25 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



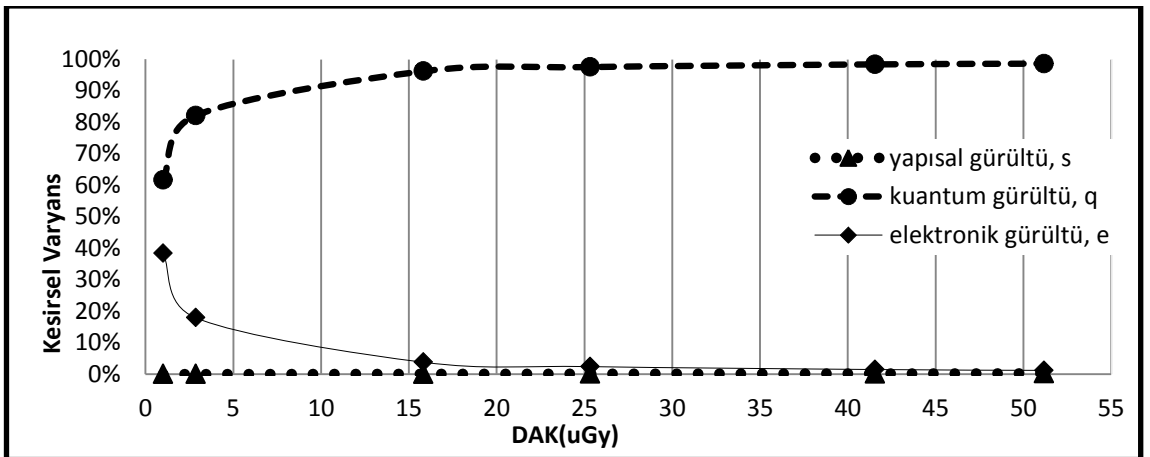
Şekil 4.26 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.27 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

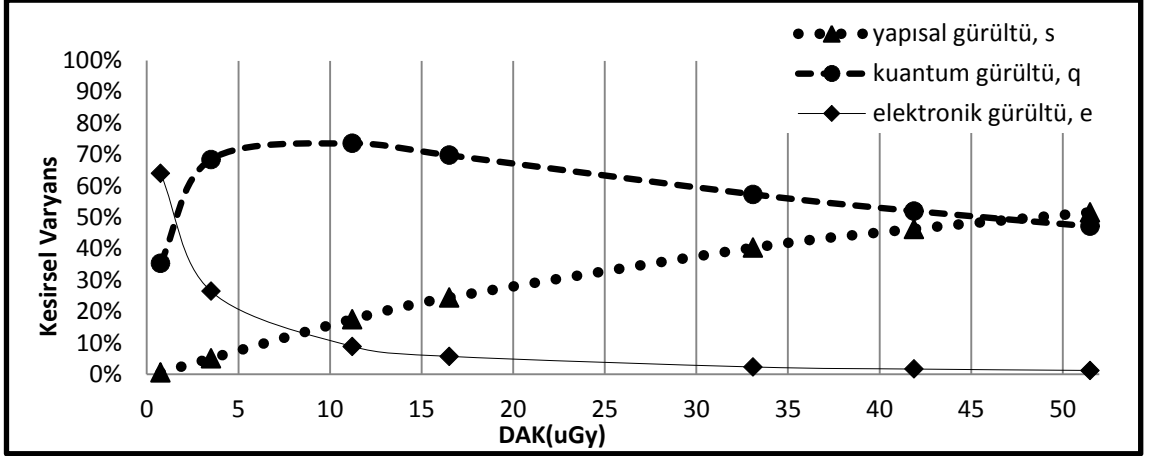


Şekil 4.28 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f= 40lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

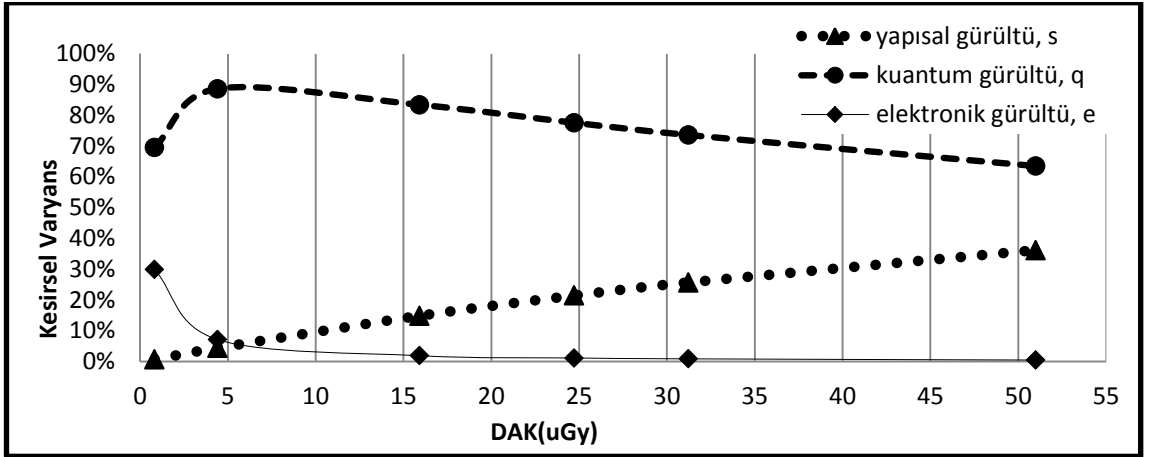


Şekil 4.29 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

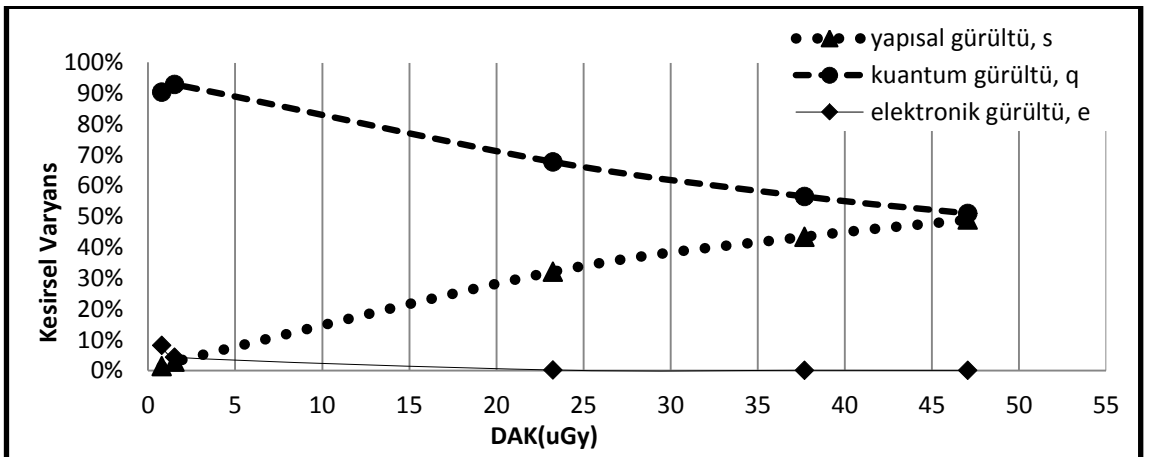
C) Trixell Pixium 4600



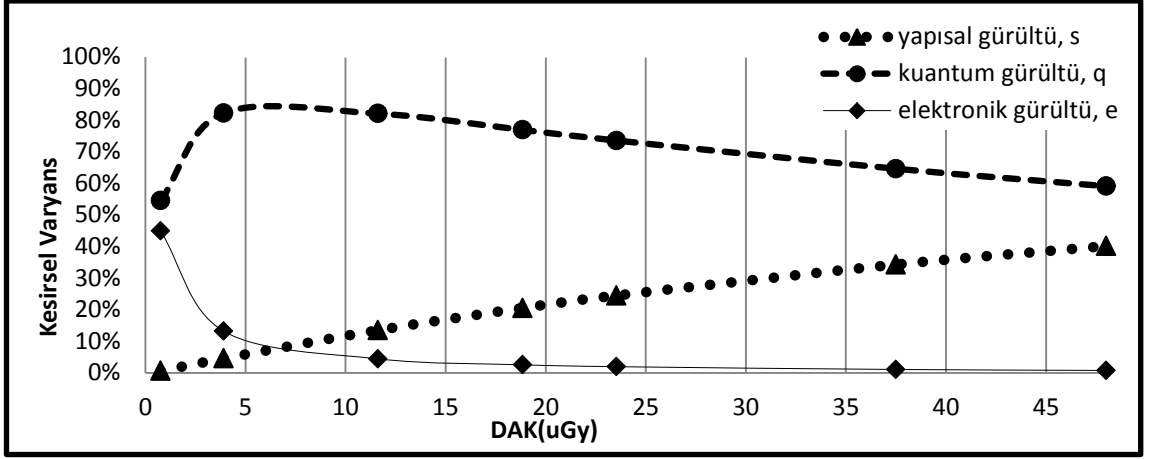
Şekil 4.30 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



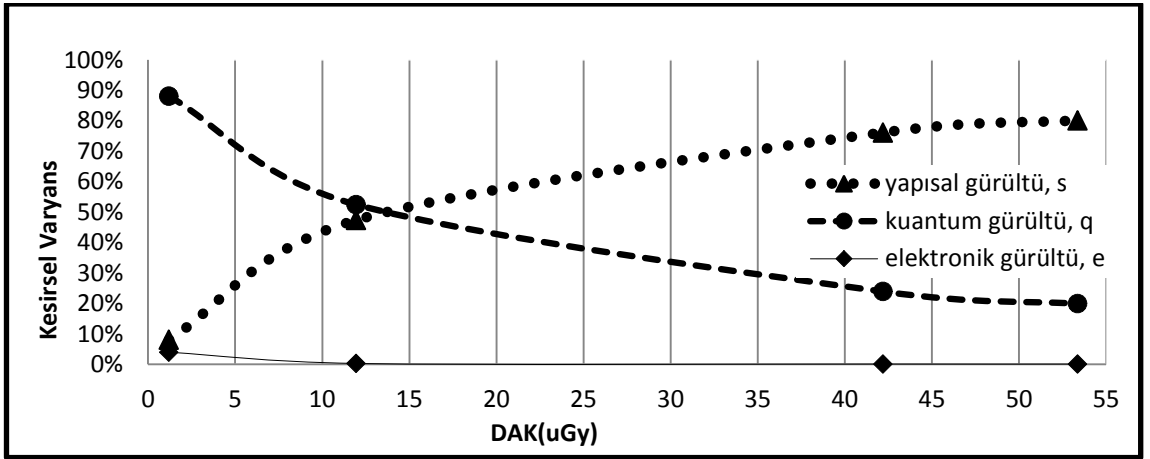
Şekil 4.31 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.32 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

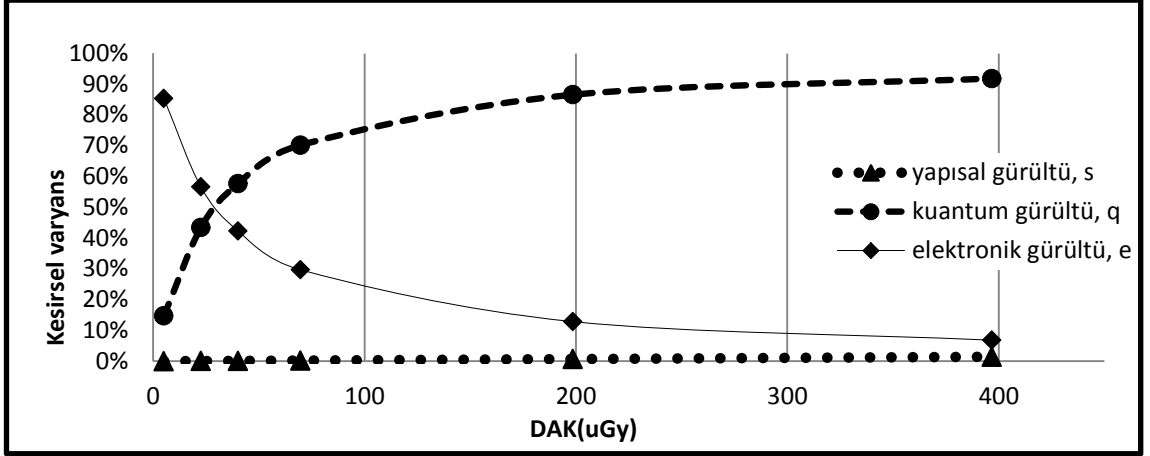


Şekil 4.33 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

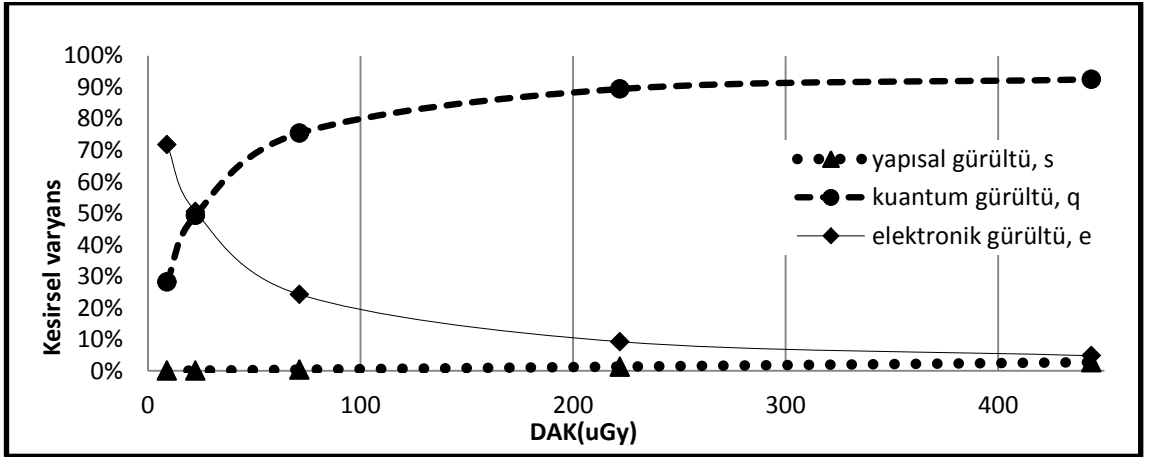


Şekil 4.34 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

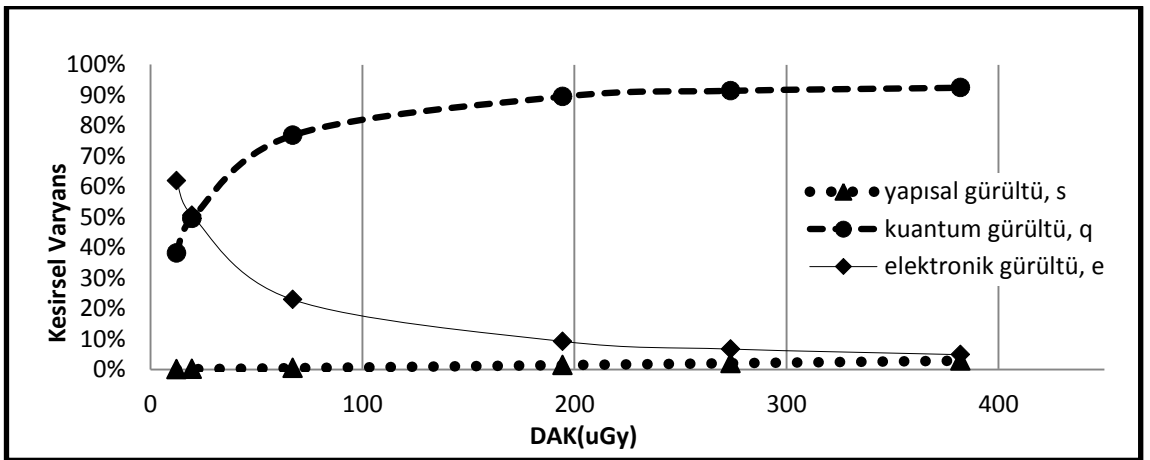
D) Siemens Mamomat Inspiration



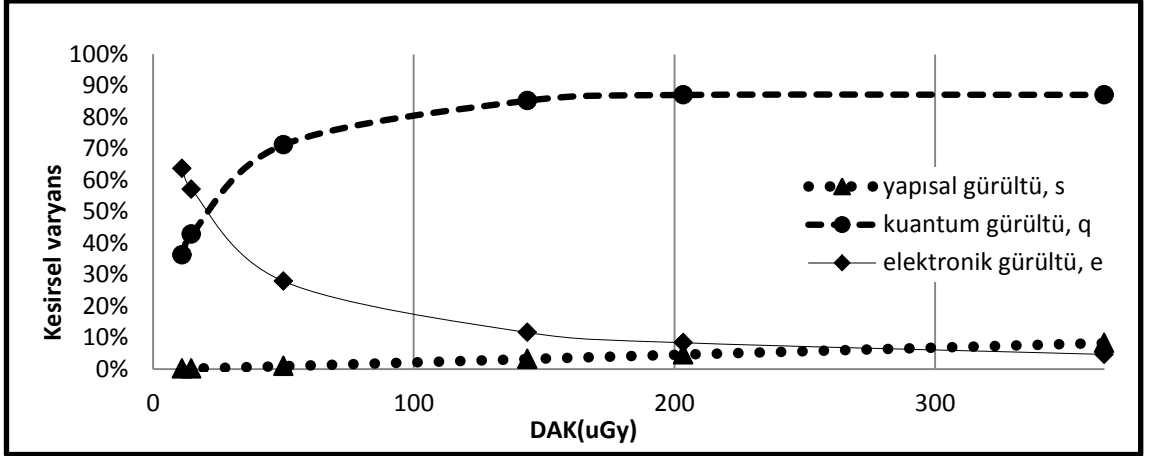
Şekil 4.35 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M1 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.36 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M2 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

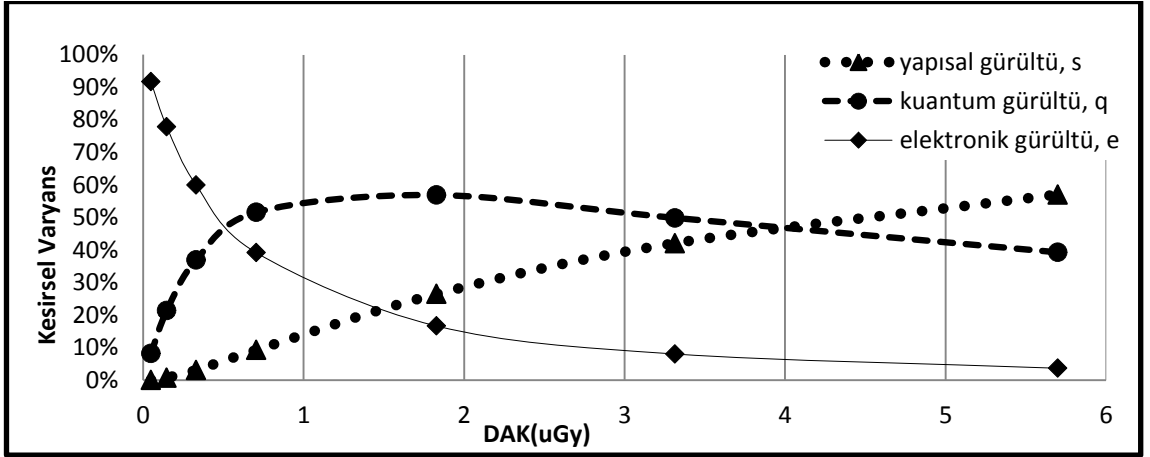


Şekil 4.37 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

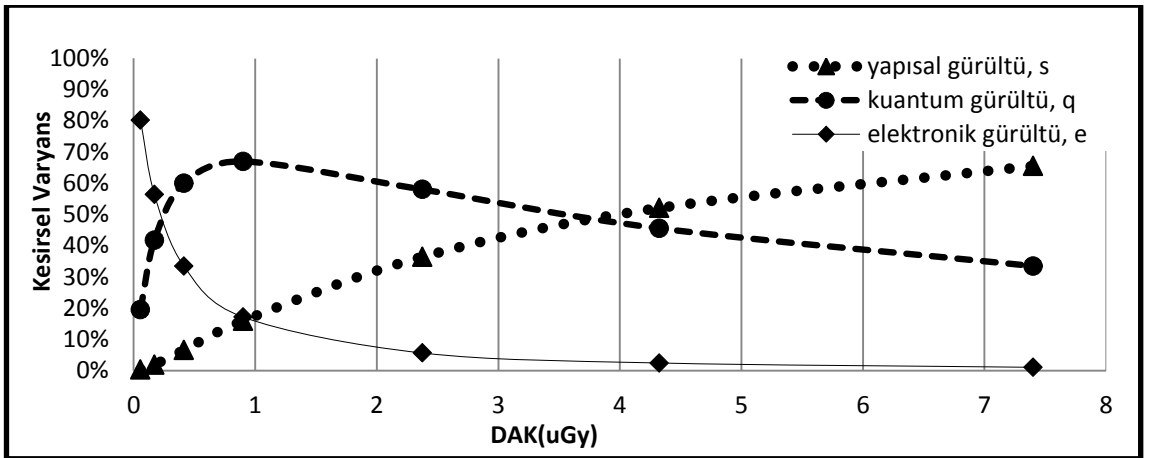


Şekil 4.38 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (31 lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

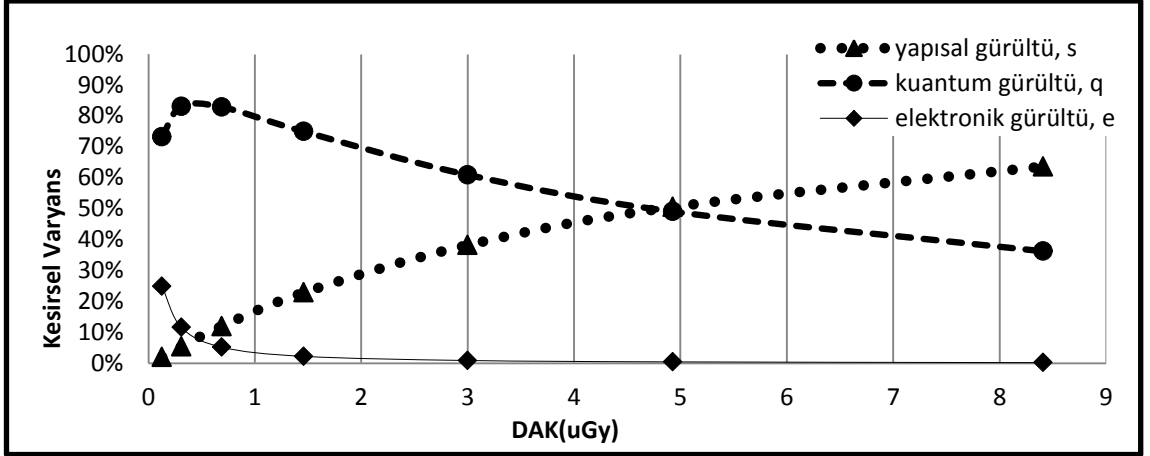
E) PaxScan



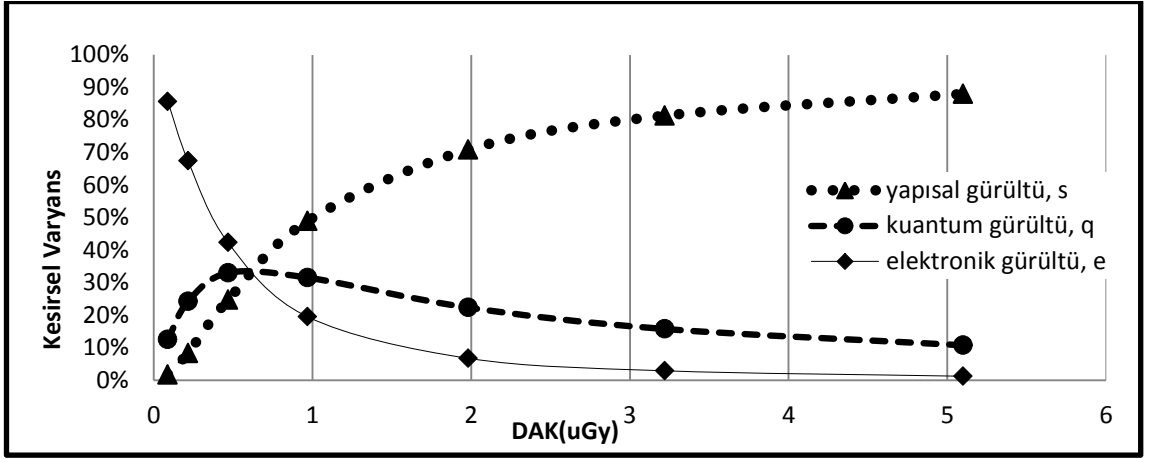
Şekil 4.39 PaxScan sisteminde RQA-3 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



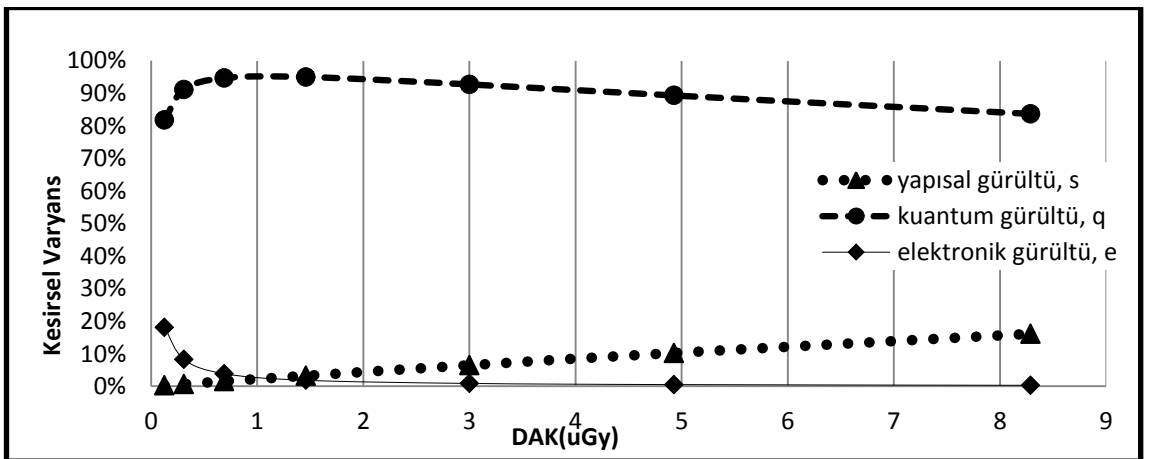
Şekil 4.40 PaxScan sisteminde RQA-5 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



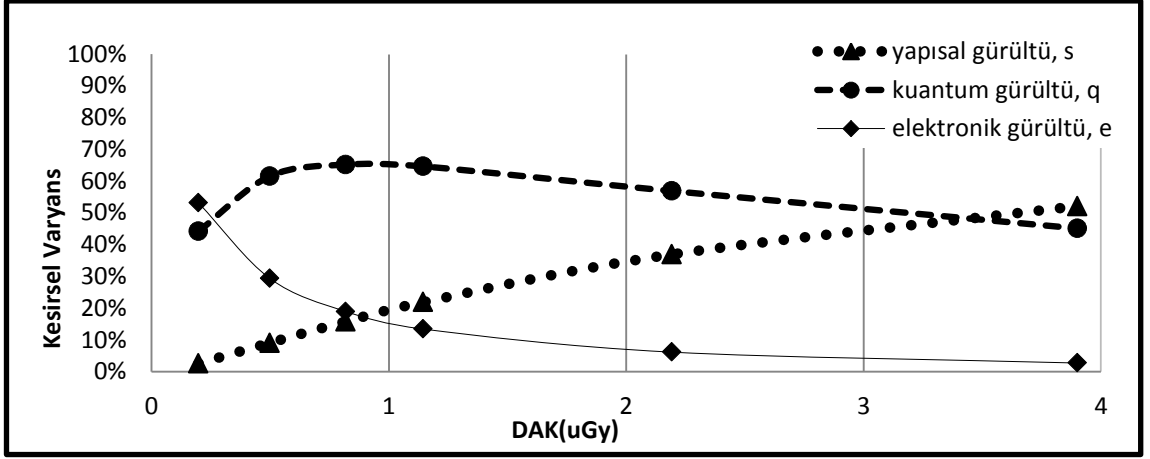
Şekil 4.41 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.42 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.43 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.



Şekil 4.44 PaxScan sisteminde RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz Kesirsel Varyans-DAK eğrisi.

Çizelge 4.1 Gürültü analizinin yapıldığı sistemlerde demet kalitelerine göre STD-DAK katsayıları ve kuantum sınırlı çalışma doz aralığı verileri.

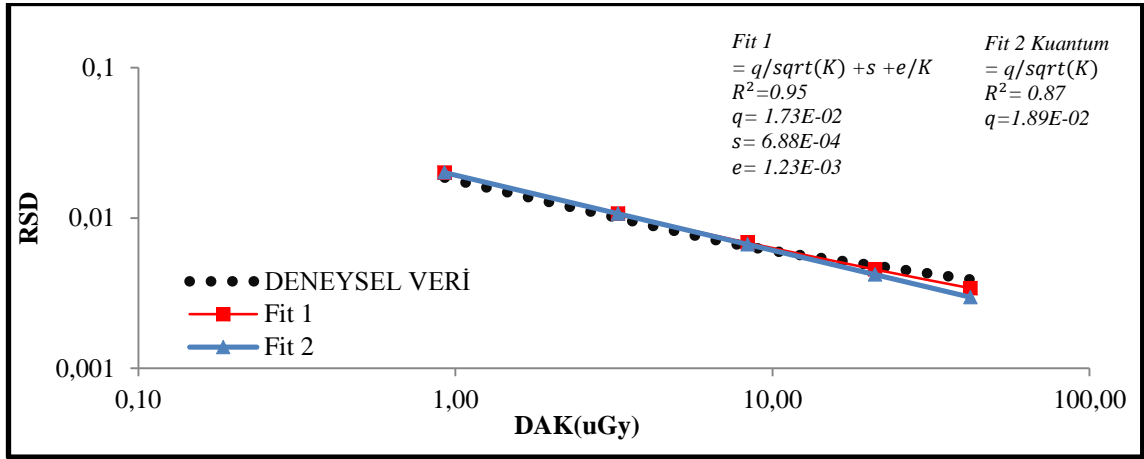
Sistemler	Demet Kaliteleri	Yapısal Gürültü, s	Kuantum Gürültü, q	Elektronik Gürültü, e	Üstel Katsayı, b	Kuantum sınırlı çalışma doz aralığı μGy
Carestream DRX-1C	RQA-3	1.03E-05	3.32E-04	1.61E-04	0.54	0.51-33
	RQA-5	8.27E-06	2.53E-04	4.00E-05	0.58	0.62-33
	RQA-7	6.46E-06	2.67E-04	7.75E-06	0.58	0.92-41.2
	RQA-7 Kazanç ve Offset Kalibrasyonlu	8.71E-07	3.16E-04	2.00E-06	0.52	0.92-41.2
	RQA-7 gridli(60lp/cm)	7.47E-05	2.35E-04	7.34E-05	0.76	0.6-5.1
	RQA-9	4.60E-06	3.82E-04	2.20E-06	0.57	1.64-47.1
Toshiba FDX4343R	RQA-3	1.30E-06	1.09E-03	1.96E-03	0.35	3.0-48
	RQA-5	3.43E-06	6.81E-04	3.06E-04	0.45	0.46-48
	RQA-7	4.11E-07	6.09E-04	1.68E-04	0.47	0.7-46
	RQA-7 gridli(40lp/cm)	2.23E-03	8.38E-04	4.26E-04	0.94	-
	RQA-9	2.45E-07	7.00E-04	4.28E-04	0.45	1.0-51
Trixell Pixium 4600	RQA-3	3.17E-05	2.34E-03	1.74E-04	0.57	1.5-47
	RQA-5	2.60E-05	2.40E-03	8.49E-04	0.61	0.85-51
	RQA-7	3.43E-05	1.68E-03	1.20E-04	0.63	0.78-47
	RQA-7 gridli(36lp/cm)	1.05E-04	3.62E-04	7.27E-04	0.67	0.76-48
	RQA-9	1.42E-04	1.88E-03	1.00E-04	0.73	1.2-13.5
Siemens Mamomat Inspiration	RQA-M1	1.17E-06	2.97E-02	8.75E-01	0.30	30-396
	RQA-M2	1.84E-06	2.77E-02	6.34E-01	0.35	20-443
	RQA-M3	2.13E-06	2.56E-02	5.43E-01	0.37	20-382
	RQA-M3 gridli(31lp/cm)	7.04E-06	2.70E-02	5.29E-01	0.35	21-365
PaxScan	RQA-3	1.57E-04	7.42E-04	3.32E-04	0.34	0.45-4.0
	RQA-5	1.40E-04	5.28E-04	1.22E-04	0.45	0.2-3.9
	RQA-7	1.40E-04	5.28E-04	7.40E-05	0.55	0.12-4.85
	RQA-7 Kazanç ve Offset Kalibrasyonlu	9.06E-06	4.10E-04	3.36E-05	0.48	0.12-8.4
	RQA-7 gridli(60lp/cm)	8.47E-04	1.17E-04	1.40E-04	0.82	-
	RQA-9	1.55E-04	5.90E-04	1.25E-04	0.50	0.25-3.5

4.3 Bağlı Gürültü(RSD) – DAK eğrileri Grafikleri Sonuçları

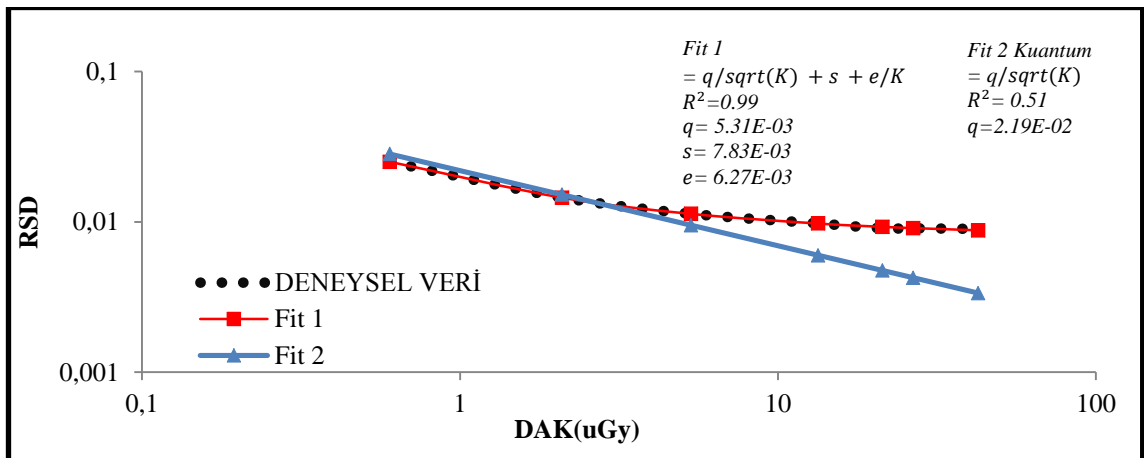
Doğrusallaştırılmış görüntülerden seçilen ROI'lerden elde edilen standart sapma değerleri, ROI'lerden elde edilen ortalama piksel değerine (ortalama doz değerine)

oranlanarak her bir görüntü için bağıl gürültü değeri (RSD) hesaplanmıştır. RSD değerleri görüntülerin alındığı DAK değerine çizdirilmiştir. Elde edilen eğriye Denklem 13 çakıştırılmıştır. Sonra gürültü kaynaklarına ait katsayılar belirlenmiştir. Ayrıca Denklem 13'teki sadece kuantum gürültü davranışa ait kısım eğriye çakıştırılarak elde edilen sisteme ait deneysel verilerin kuantum sınırlı davranışından ayrılmasına bakılmıştır. Bu ayrılmalardan elde edilen kuantum sınırlı çalışma doz aralığı ve RSD-DAK analizine ait her demet kalitesindeki gürültü analizi katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu kısımda 5 sisteme ait sadece RQA-7 demet kalitesinde gridsiz, gridli ve görüntü kalitesi kalibrasyonlarının yapılabildiği sistemlere ait RSD-DAK eğrileri verilecektir.

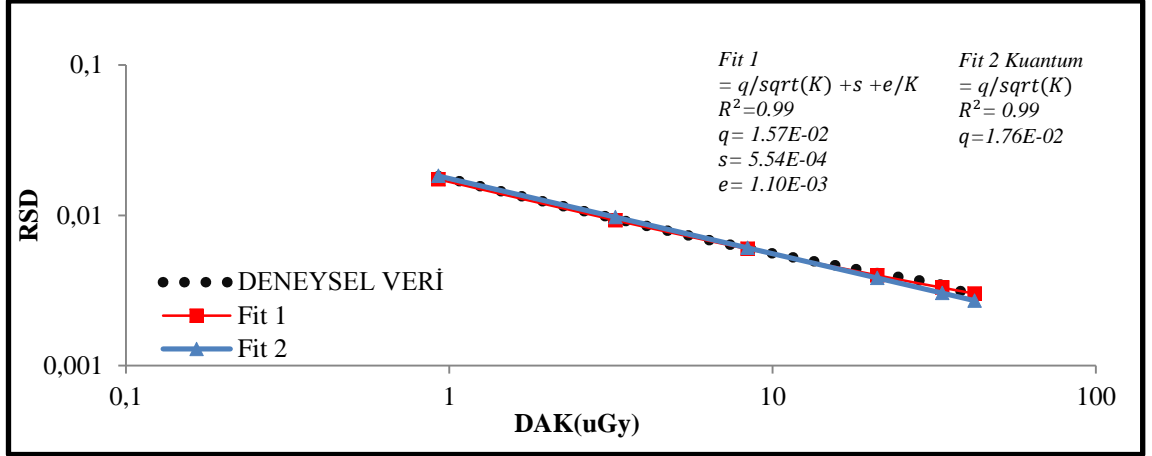
A) DRX-1C



Şekil 4.45 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.

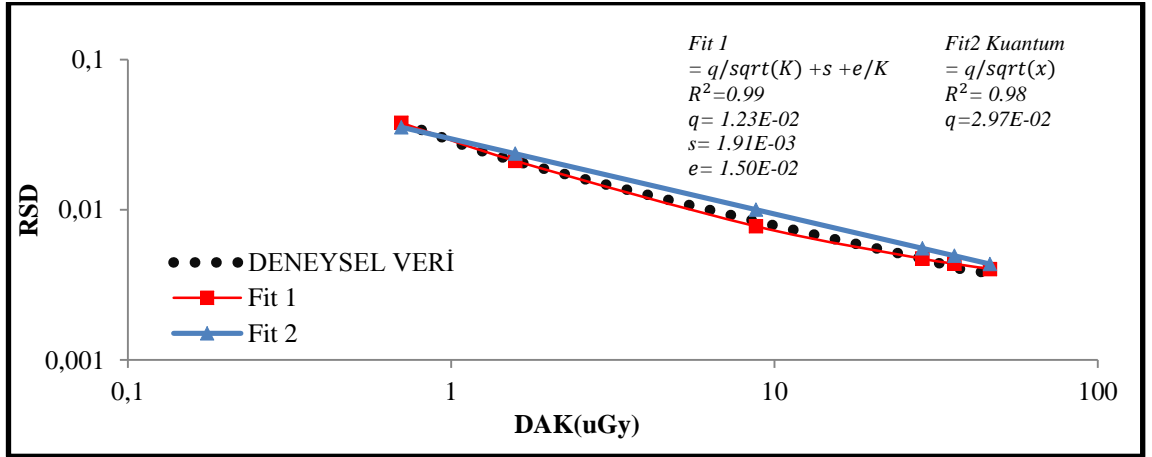


Şekil 4.46 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) RSD-DAK eğrisi.

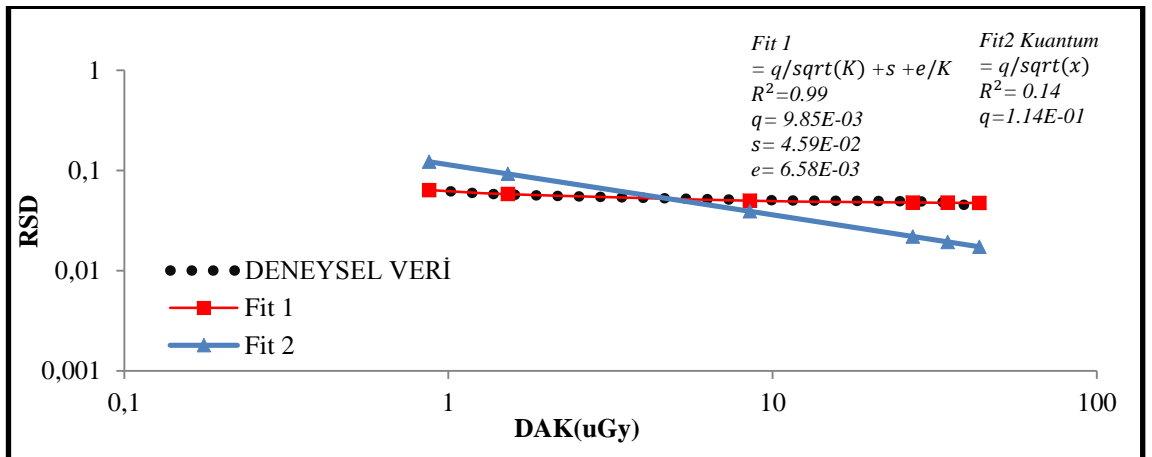


Şekil 4.47 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu RSD-DAK eğrisi.

B) Toshiba FDX4343R

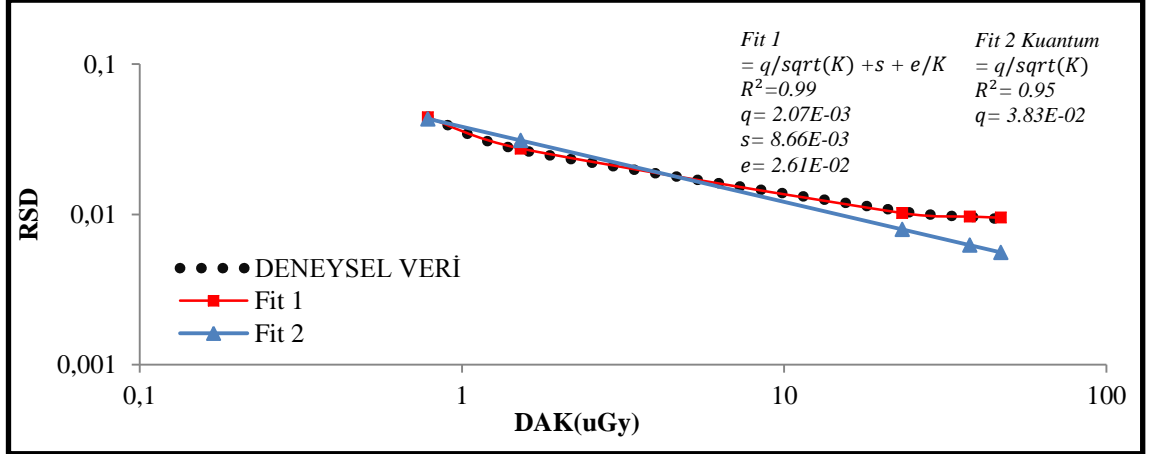


Şekil 4.48 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.

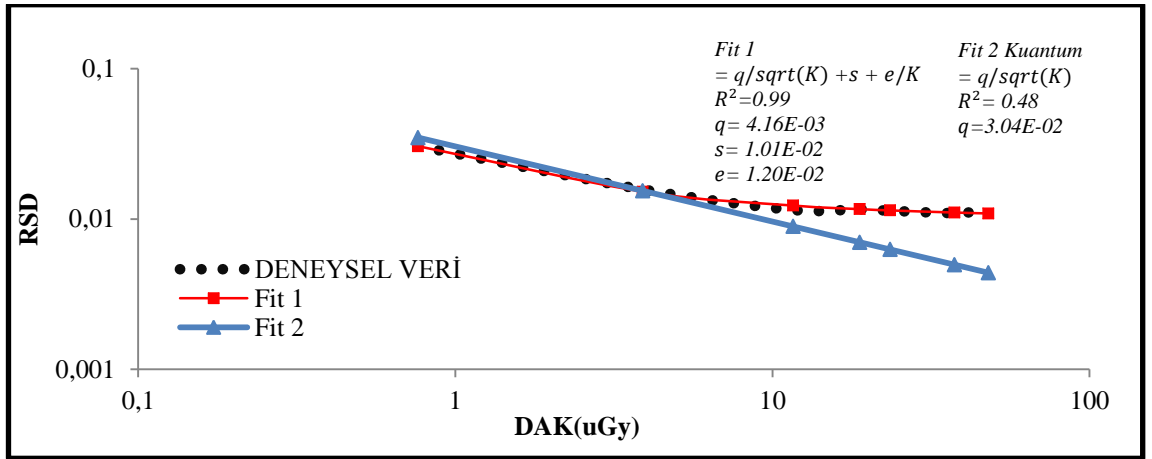


Şekil 4.49 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=40lp/cm) RSD-DAK eğrisi.

C) Trixell Pixium 4600

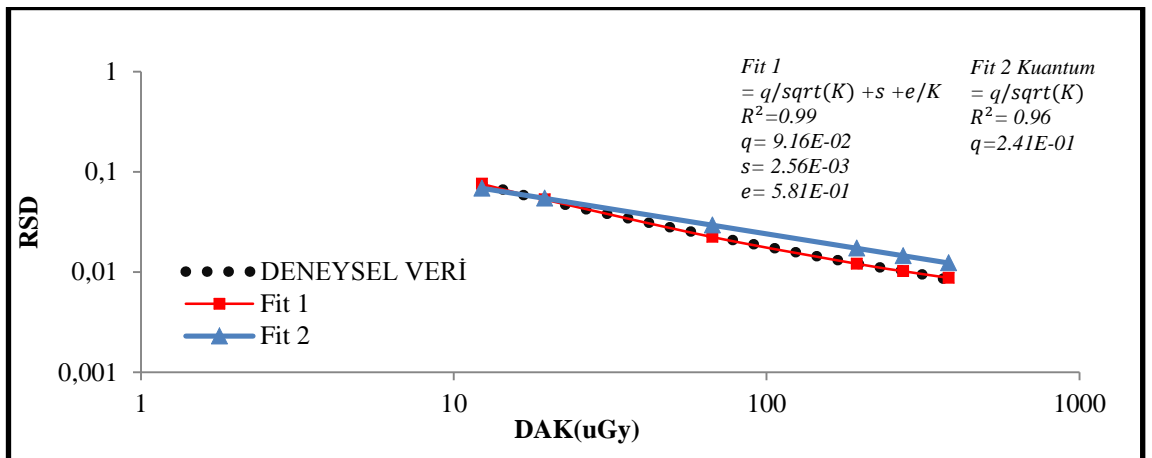


Şekil 4.50 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.

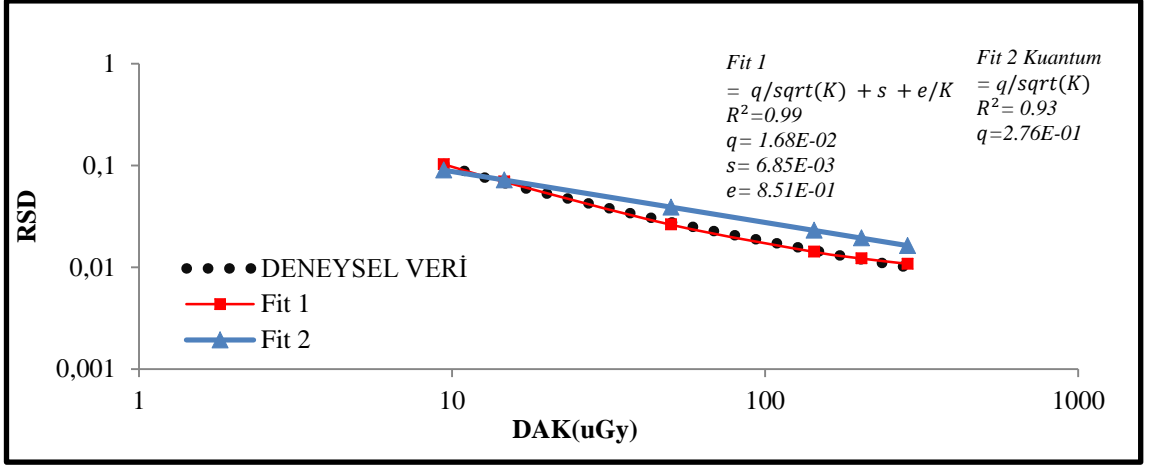


Şekil 4.51 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36 lp/cm) RSD-DAK eğrisi.

D) Siemens Mamomat Inspiration

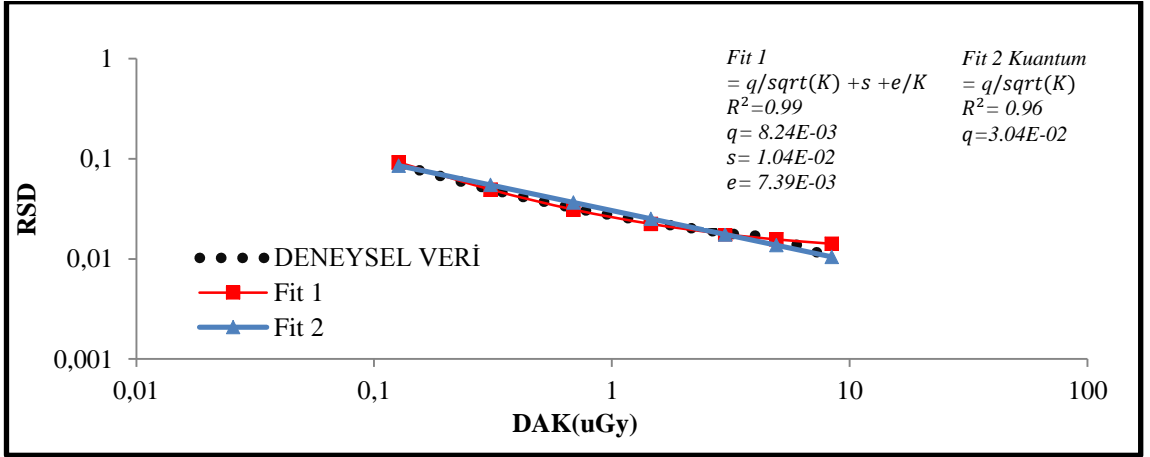


Şekil 4.52 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.

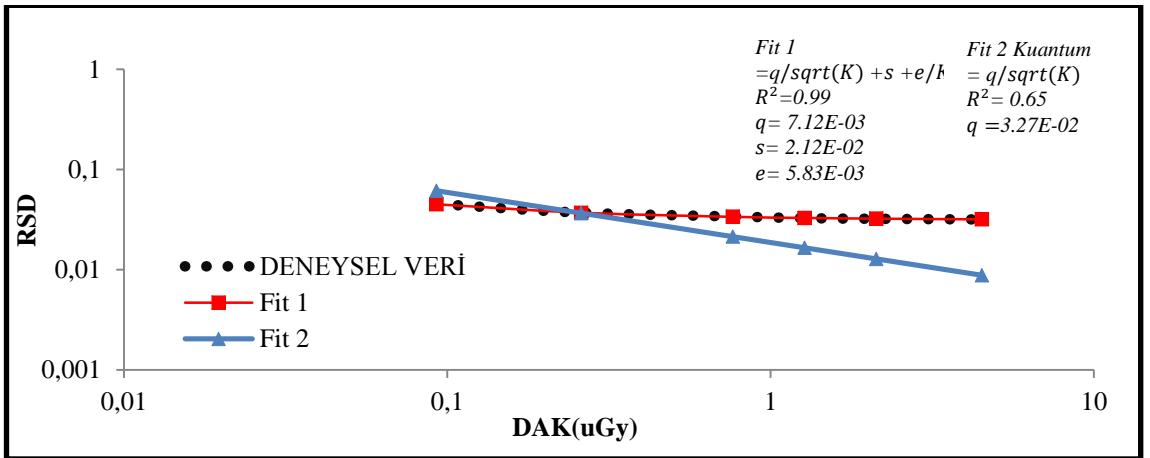


Şekil 4.53 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31 lp/cm) RSD-DAK eğrisi.

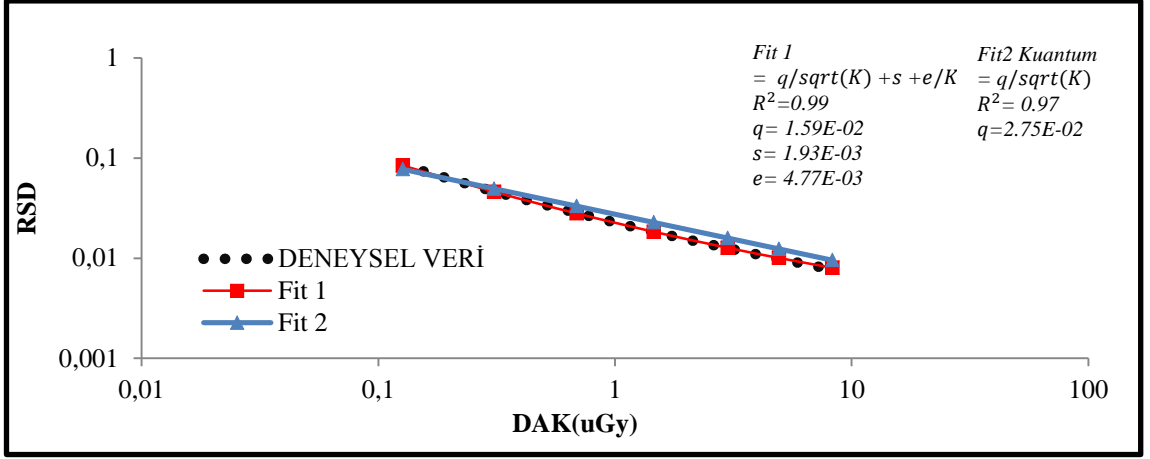
E) PaxScan



Şekil 4.54 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz RSD-DAK eğrisi.



Şekil 4.55 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=60lp/cm) RSD-DAK eğrisi.



Şekil 4.56 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu RSD-DAK eğrisi.

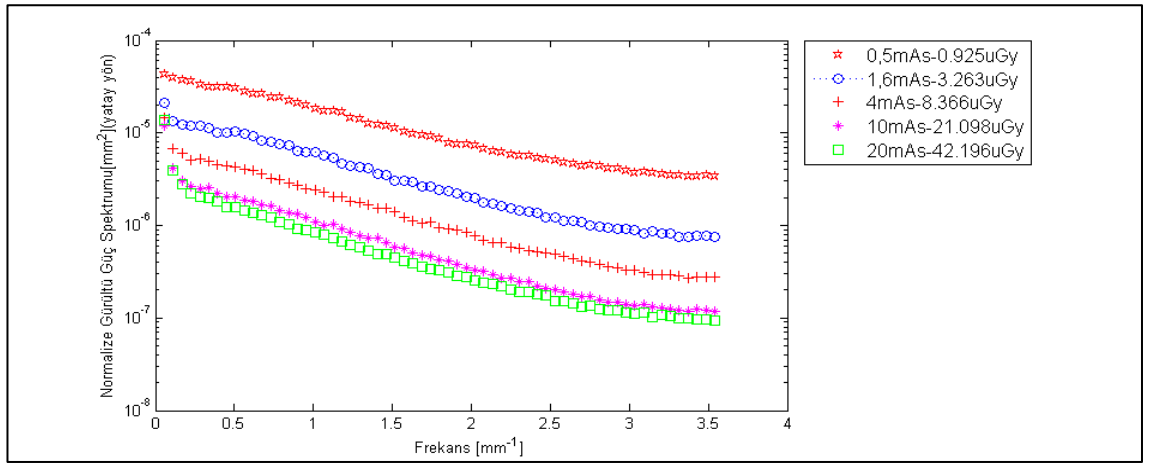
Çizelge 4.2 Gürültü analizinin yapıldığı sistemlerde demet kalitelerine göre RSD-DAK katsayıları ve kuantum sınırlı çalışma doz aralığı.

Sistemler	Demet Kaliteleri	Yapısal Gürültü, s	Kuantum Gürültü, q	Elektronik Gürültü, e	Kuantum sınırlı çalışma doz aralığı μGy
Carestream DRX-1C	RQA-3	1.48E-03	1.59E-02	5.17E-03	0.5-54
	RQA-5	1.54E-03	1.24E-02	3.47E-03	0.6-43
	RQA-7	6.88E-04	1.73E-02	1.23E-03	0.9-42
	RQA-7 Kazanç ve Offset Kalibrasyonlu	5.54E-04	1.57E-02	1.10E-03	0.9-42
	RQA-7 gridli(60lp/cm)	7.83E-03	5.31E-03	6.27E-03	0.6-23
	RQA-9	9.17E-04	1.78E-02	1.76E-04	1.6-47
Toshiba FDX4343R	RQA-3	3.39E-04	2.94E-02	1.95E-02	0.4-48
	RQA-5	7.00E-04	2.02E-02	1.80E-02	0.5-48
	RQA-7	1.91E-03	1.23E-02	1.50E-02	0.7-46
	RQA-7 gridli(40lp/cm)	4.59E-02	9.85E-03	6.58E-03	-
	RQA-9	1.04E-04	2.47E-02	9.61E-03	1.0-51
Trixiell Pixium 4600	RQA-3	5.94E-03	2.62E-02	8.19E-03	4.0-52
	RQA-5	7.27E-03	1.89E-02	4.18E-03	0.8-42
	RQA-7	8.66E-03	2.07E-03	2.61E-02	0.8-47
	RQA-7 gridli(36lp/cm)	1.01E-02	4.16E-03	1.20E-02	0.8-29
	RQA-9	9.54E-03	2.78E-02	1.00E-03	1.2-42
Siemens Mamomat INSPİRATIÖN	RQA-M1	3.88E-03	7.03E-02	8.27E-01	5.0-26
	RQA-M2	3.01E-03	8.14E-02	6.87E-01	9.0-116
	RQA-M3	2.56E-03	9.16E-02	5.81E-01	12-382
	RQA-M3 gridli(31lp/cm)	6.85E-03	1.68E-02	8.51E-01	9.0-96
PaxScan	RQA-3	5.55E-03	2.16E-02	1.04E-02	0.05-5.70
	RQA-5	8.36E-03	1.32E-02	6.89E-03	0.06-7.0
	RQA-7	1.04E-02	8.24E-03	7.39E-03	0.13-8.0
	RQA-7 Kazanç ve Offset Kalibrasyonlu	1.93E-03	1.59E-02	4.77E-03	0.13-8.0
	RQA-7 gridli(60lp/cm)	2.12E-02	7.12E-03	5.83E-03	0.09-5.1
	RQA-9	9.72E-03	1.09E-02	9.04E-03	0.2-4.0

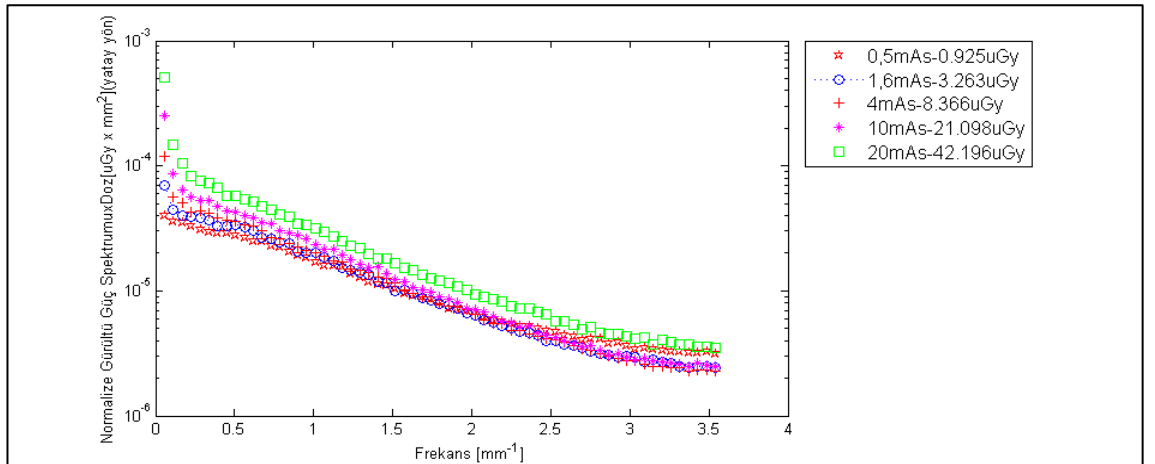
4.4 Normalized Gürültü Güç Dağılımı (NNPS)

Bu bölümde, çalışılan sistemlerde farklı doz seviyelerinde ve RQA-7 demet kalitesinde homojen görüntülerden elde edilen NNPS ve spektrumu dozdan bağımsız hale getirmek için hesaplanmış $NNPS \times Doz$ grafikleri verilmiştir. Ölçümler sonucu dikey ve yatay yönde hesaplanmıştır. Fakat bu bölümde sadece grid artefaktın olduğu yöndeki NNPS eğrileri verilmiştir.

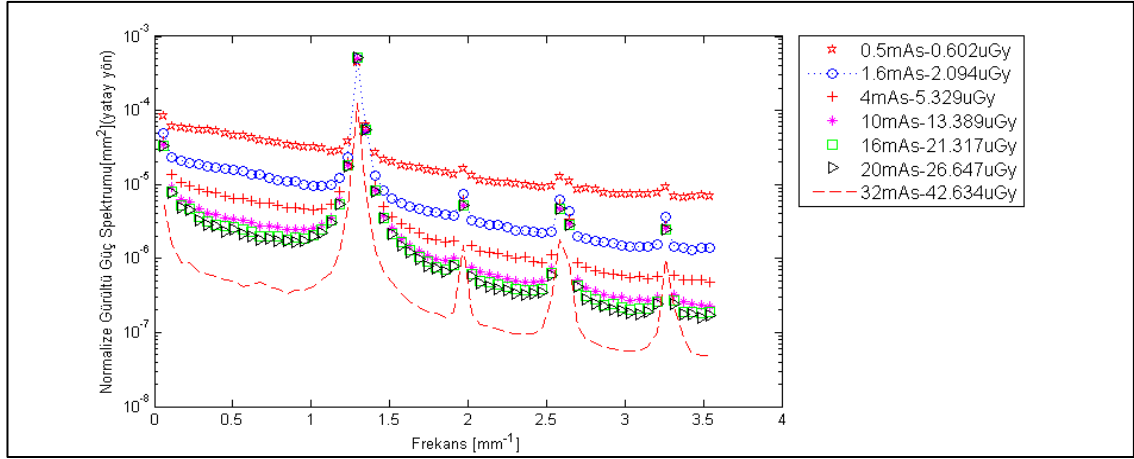
A) DRX-1C



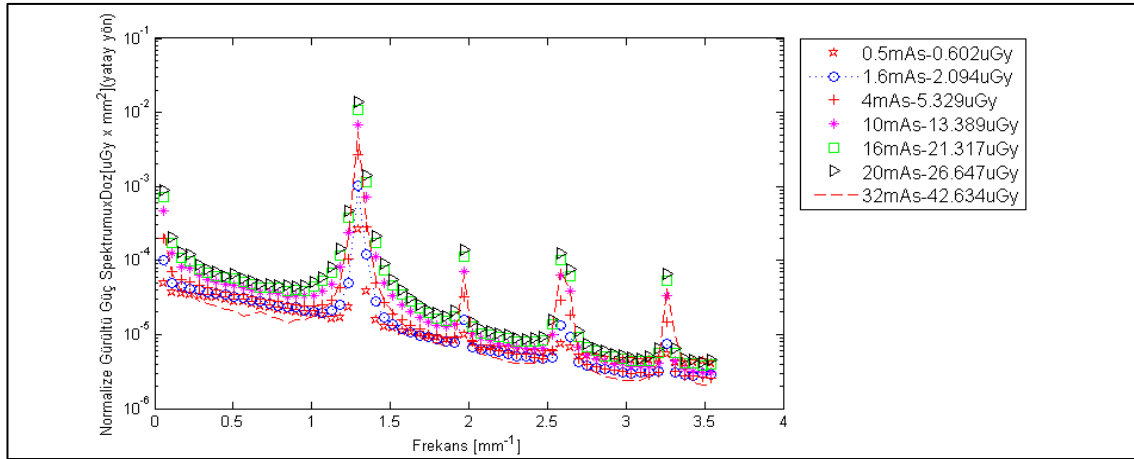
Şekil 4.57 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPS sonuçları.



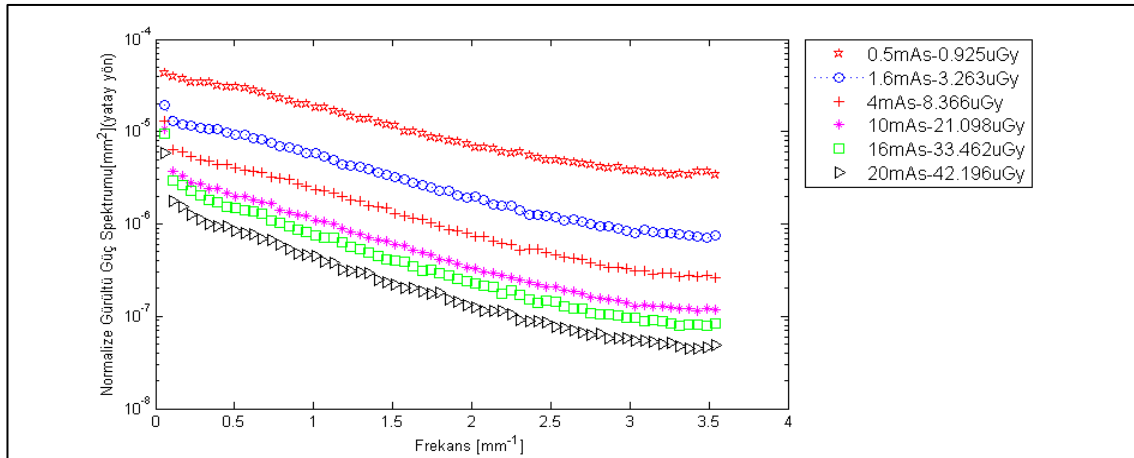
Şekil 4.58 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki $NNPS \times Doz$ sonuçları.



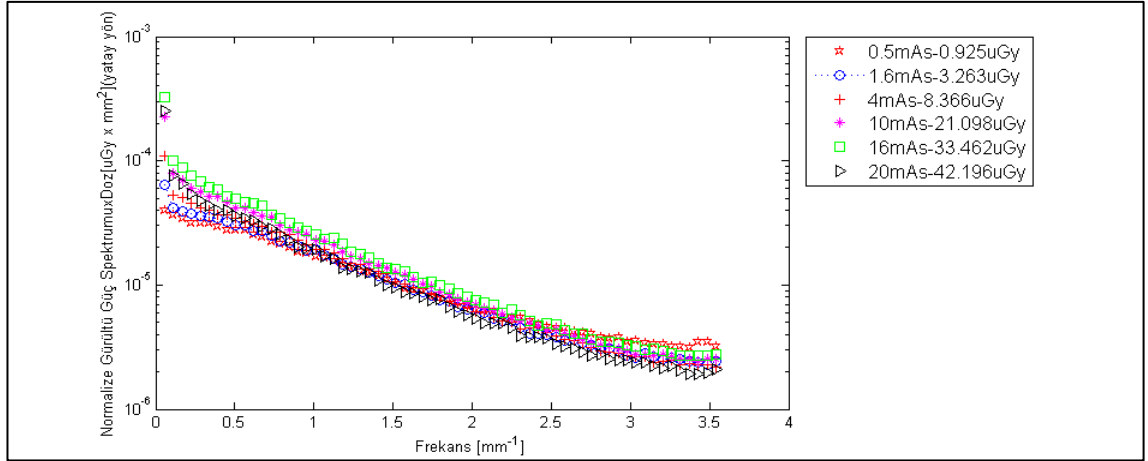
Şekil 4.59 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) yatay yöndeki NNPS sonuçları.



Şekil 4.60 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

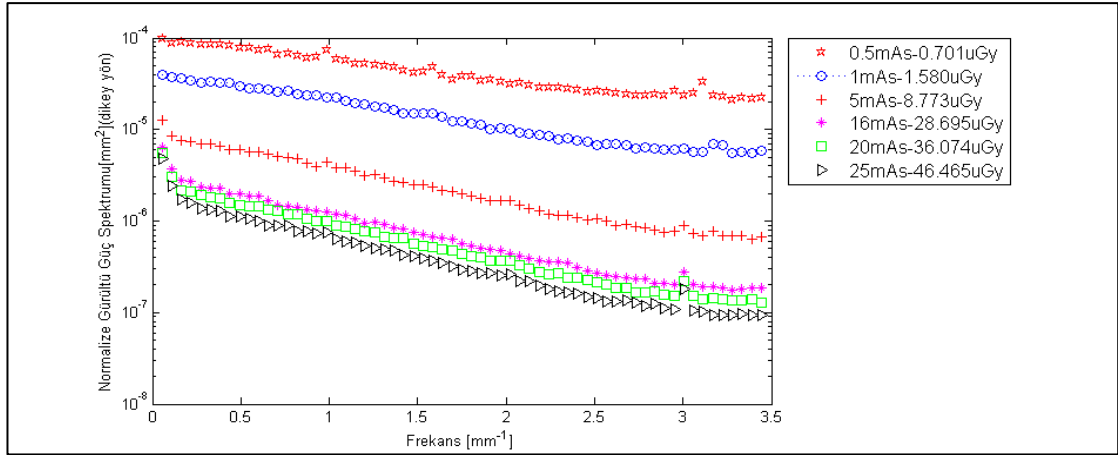


Şekil 4.61 DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPS sonuçları.

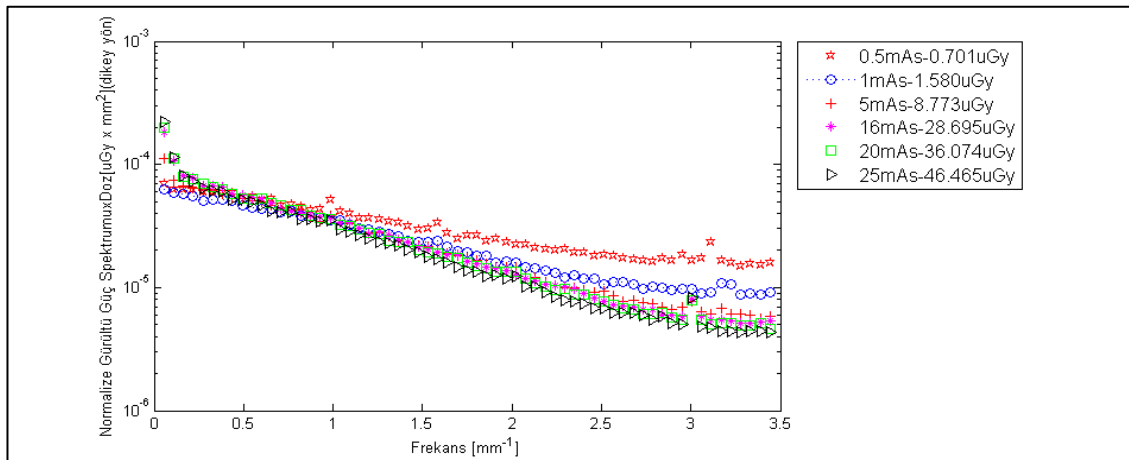


Şekil 4.62 DRX1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

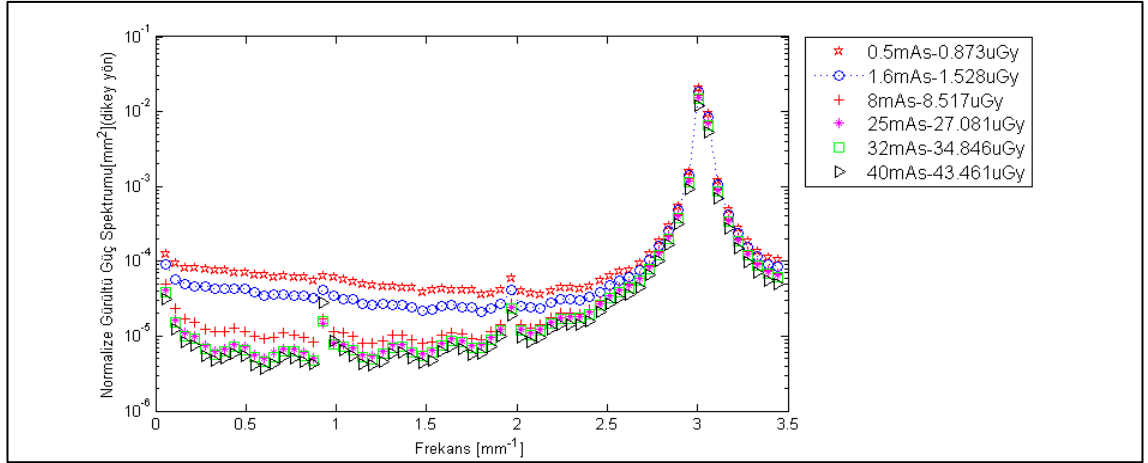
B) Toshiba FDX4343R



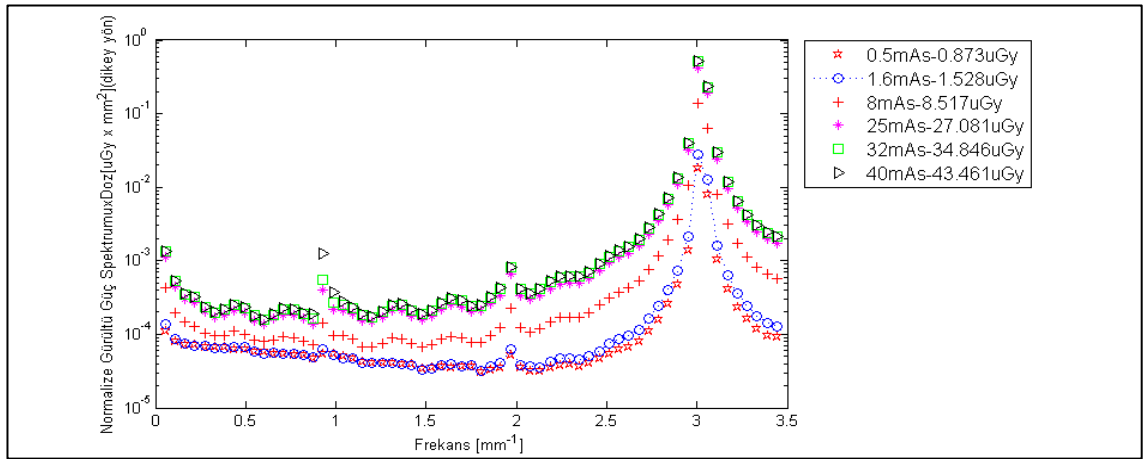
Şekil 4.63 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.



Şekil 4.64 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

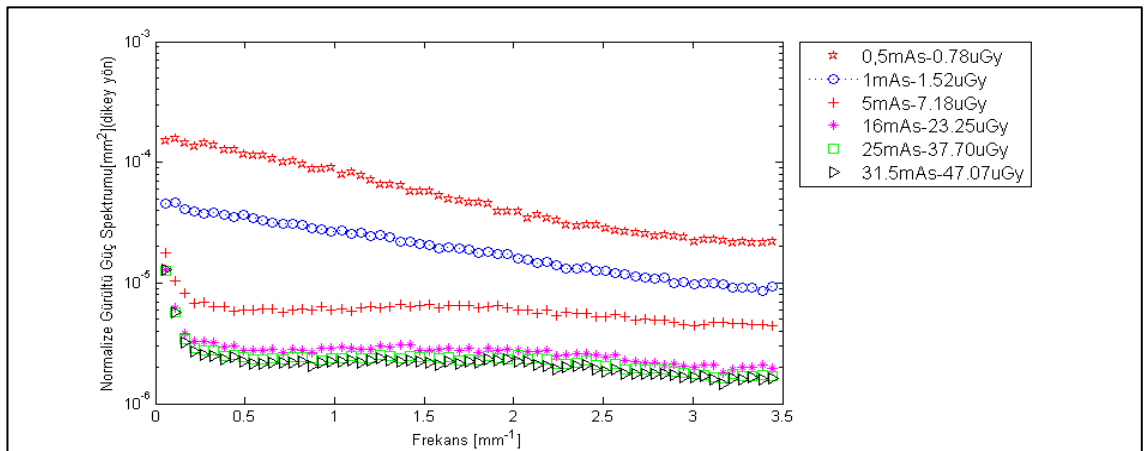


Şekil 4.65 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=40lp/cm$) dikey yöndeki NNPS sonuçları.

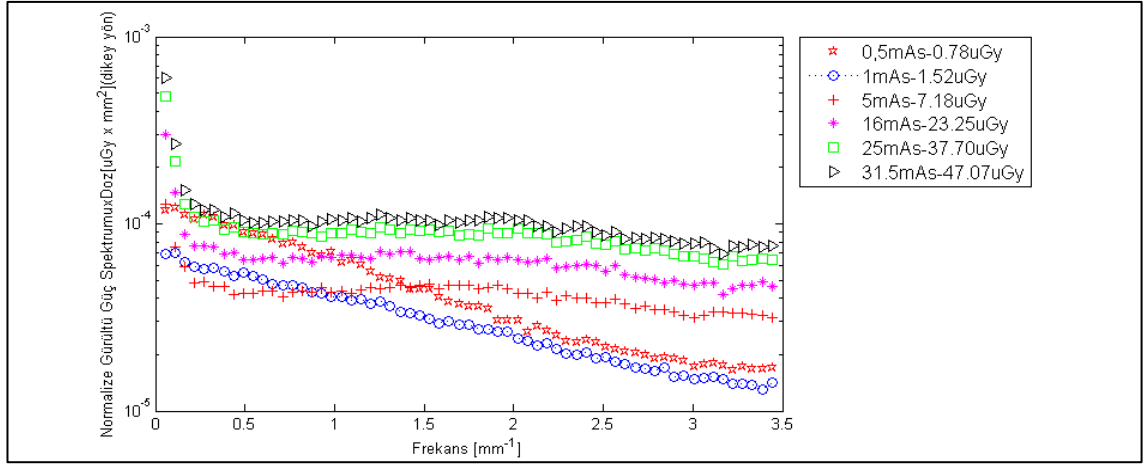


Şekil 4.66 Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=40lp/cm$) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

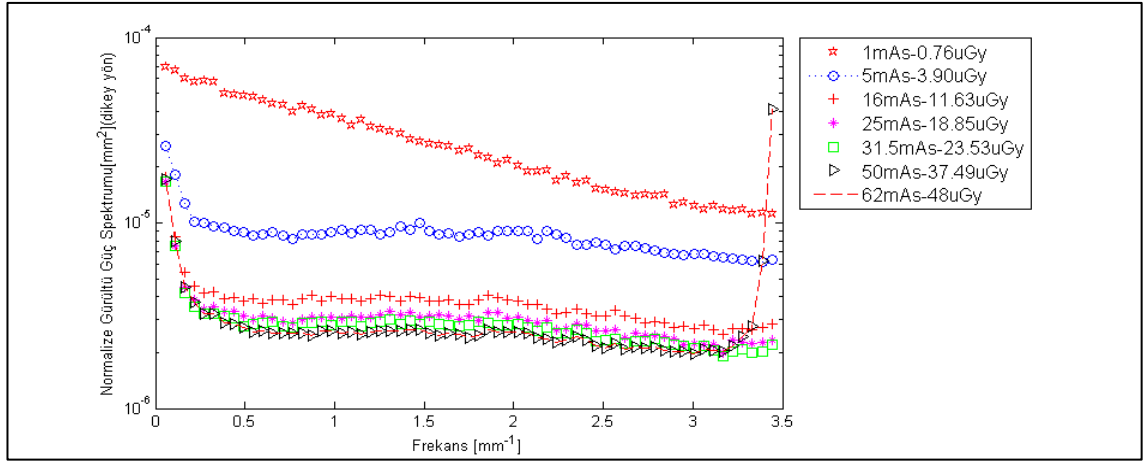
C) Trixell Pixium 4600



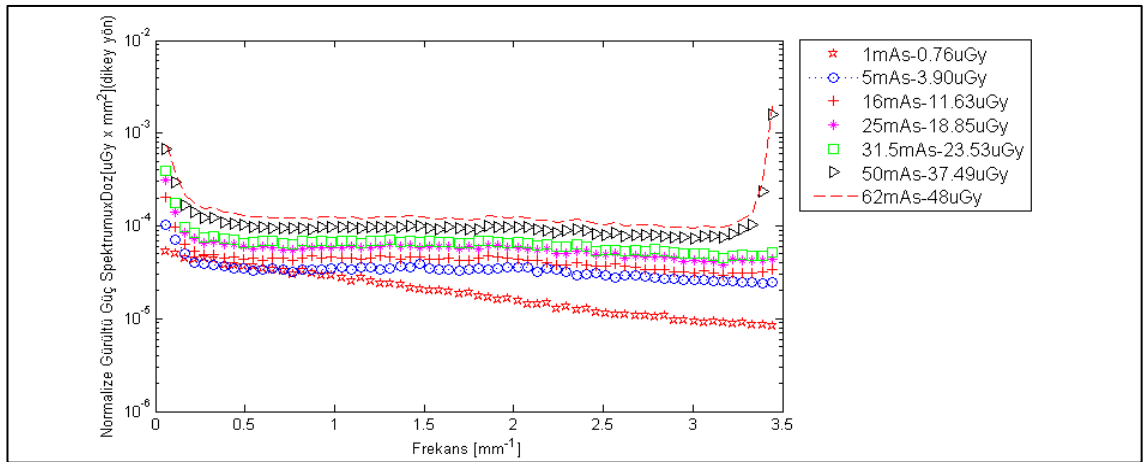
Şekil 4.67 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.



Şekil 4.68 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

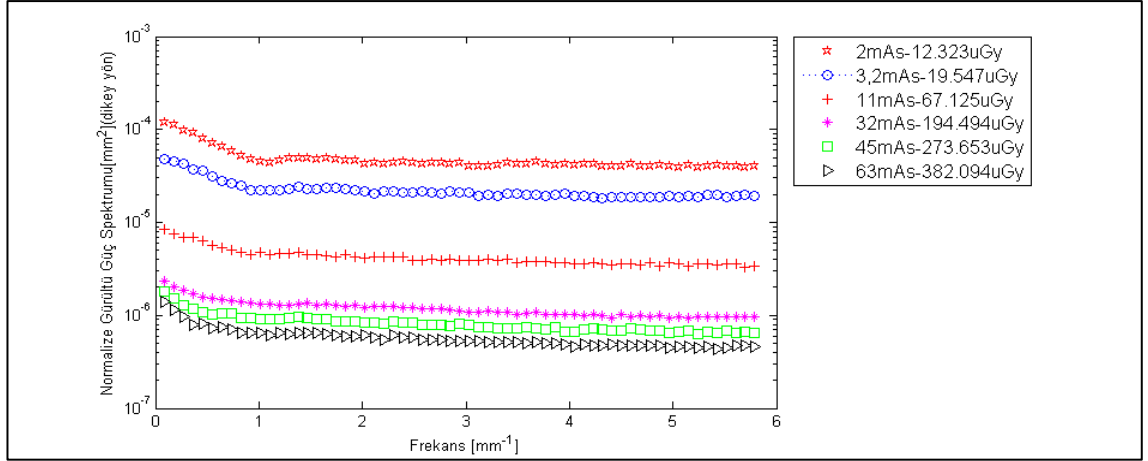


Şekil 4.69 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.

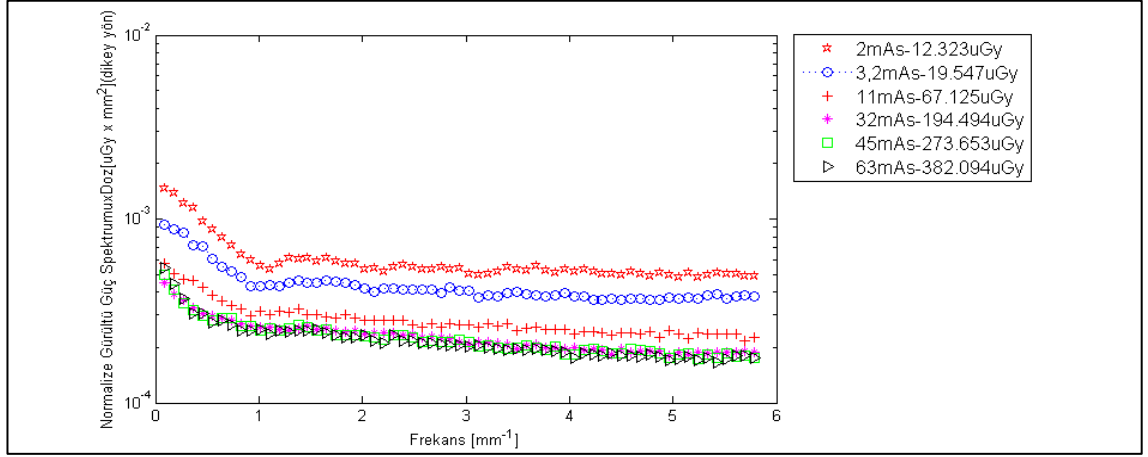


Şekil 4.70 Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli (f=36lp/cm) dikey yöndeki NNSxDoz sonuçları.

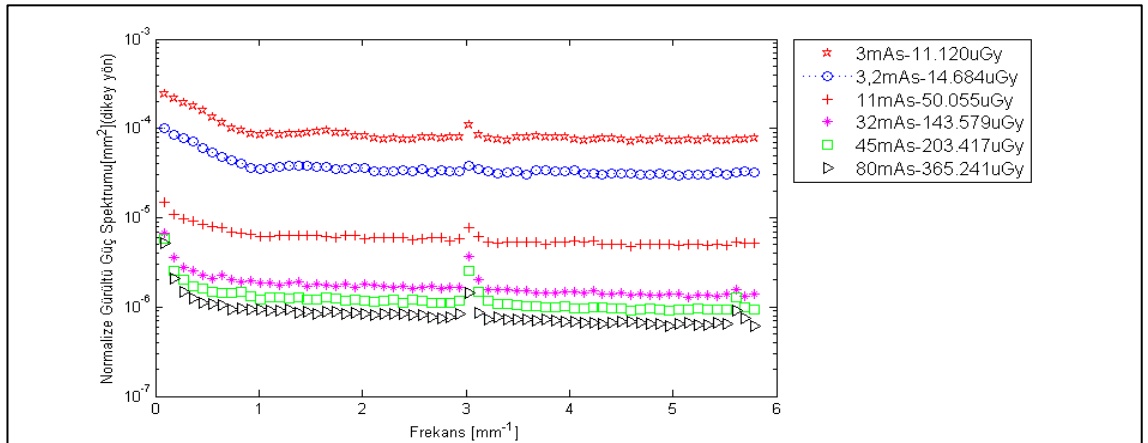
D) Siemens Mamomat Inspiration



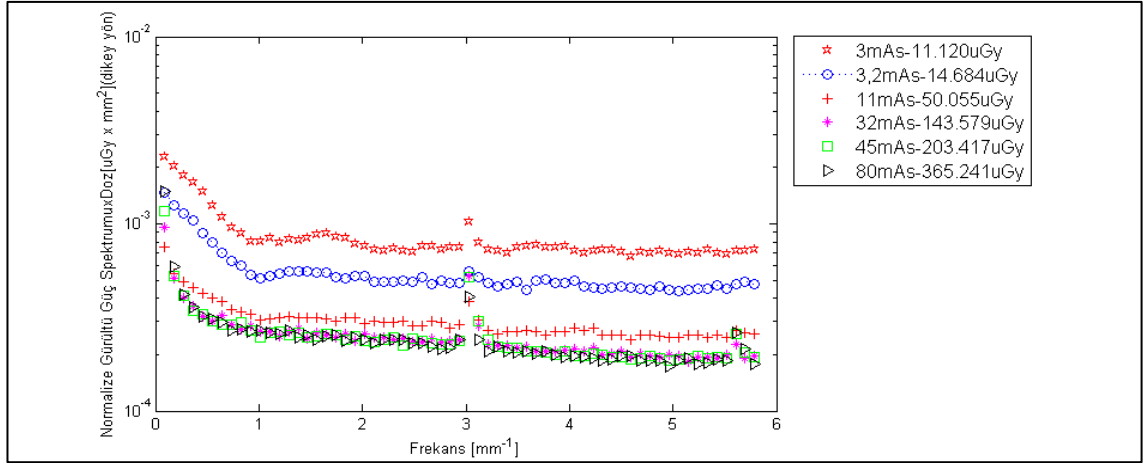
Şekil 4.71 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.



Şekil 4.72 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



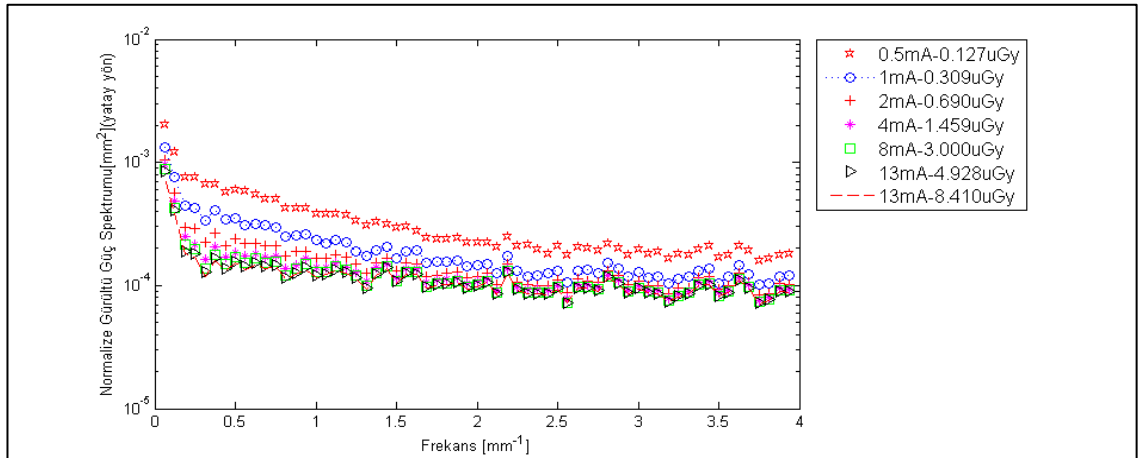
Şekil 4.73 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli (f=31lp/cm) dikey yöndeki NNPS sonuçları.



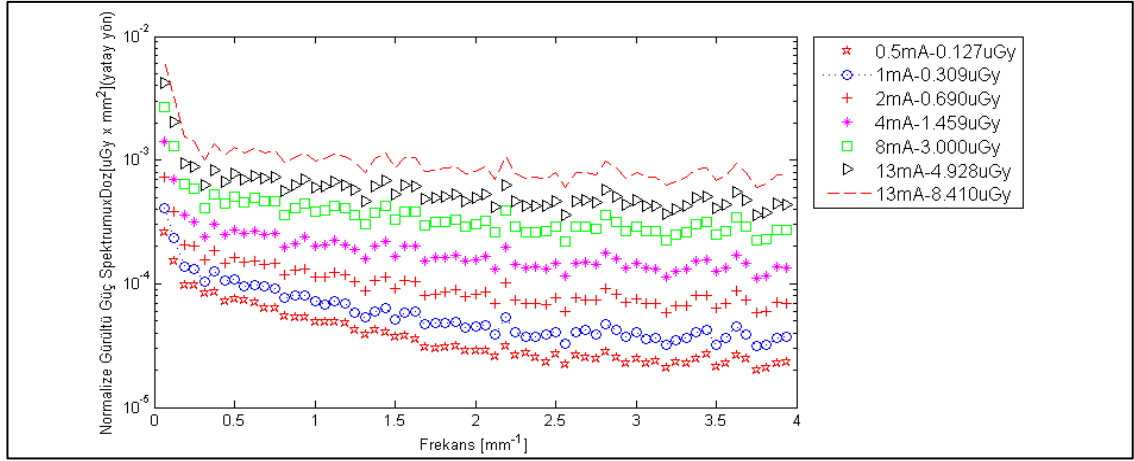
Şekil 4.74 Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M3 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=311\mu\text{p}/\text{cm}$) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

E) PaxScan

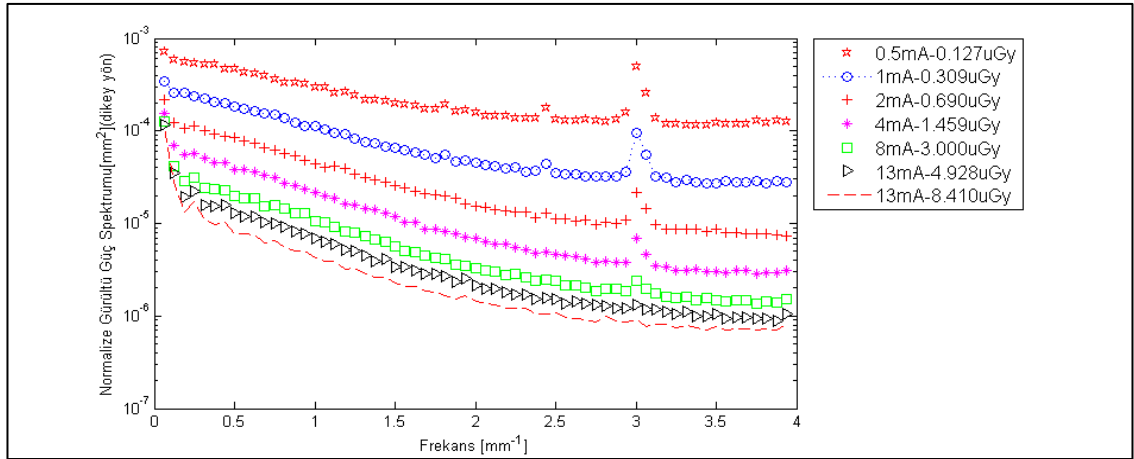
PaxScan sisteminde alınmış NNPS'lerin yatay ve dikey yöndeki davranışları farklı olduğu için bu sistemde her iki yöndeki NNPS eğrileri verilmiştir.



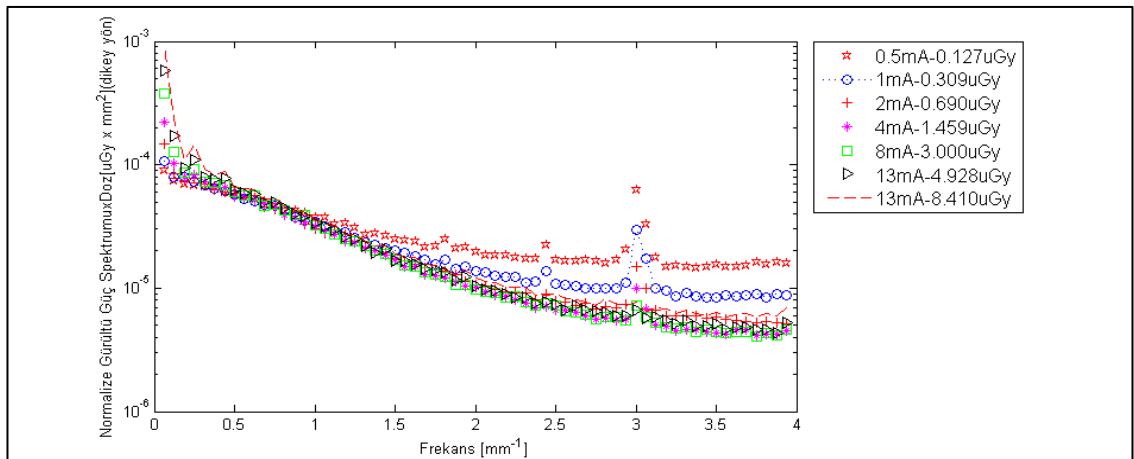
Şekil 4.75 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPS sonuçları.



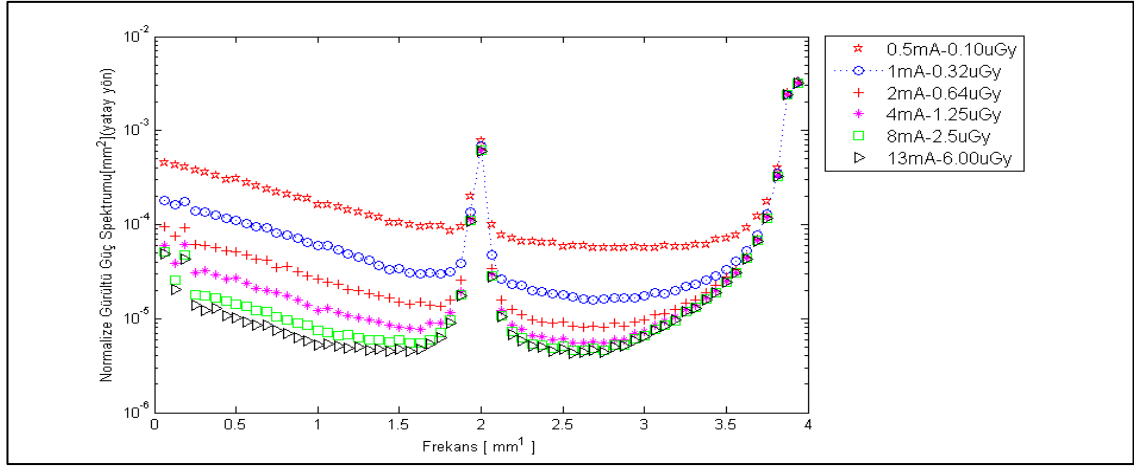
Şekil 4.76 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



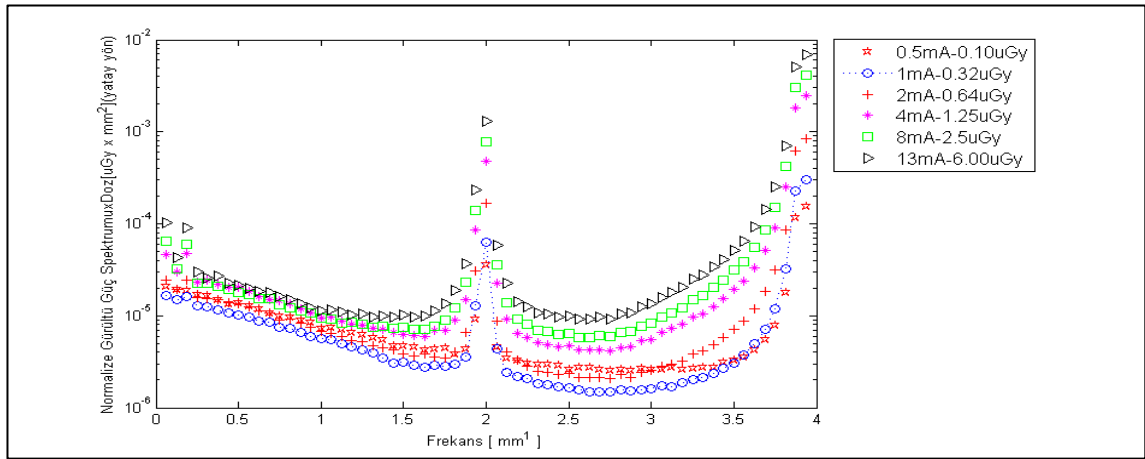
Şekil 4.77 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPS sonuçları.



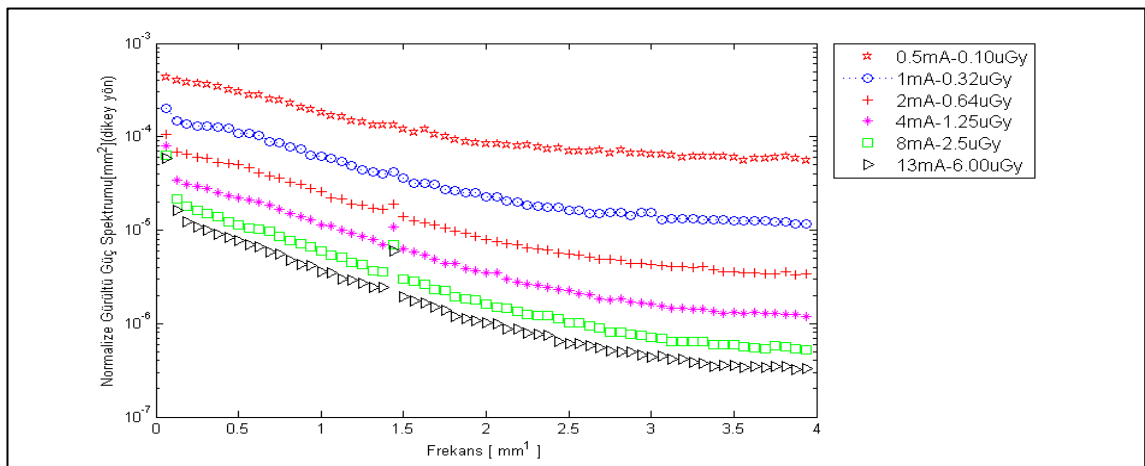
Şekil 4.78 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridsiz dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



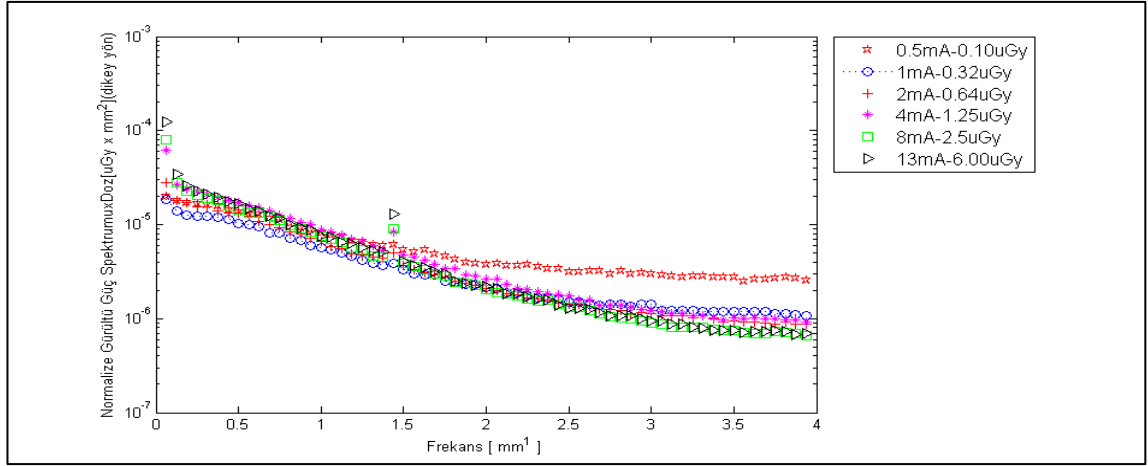
Şekil 4.79 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) yatay yöndeki NNPS sonuçları.



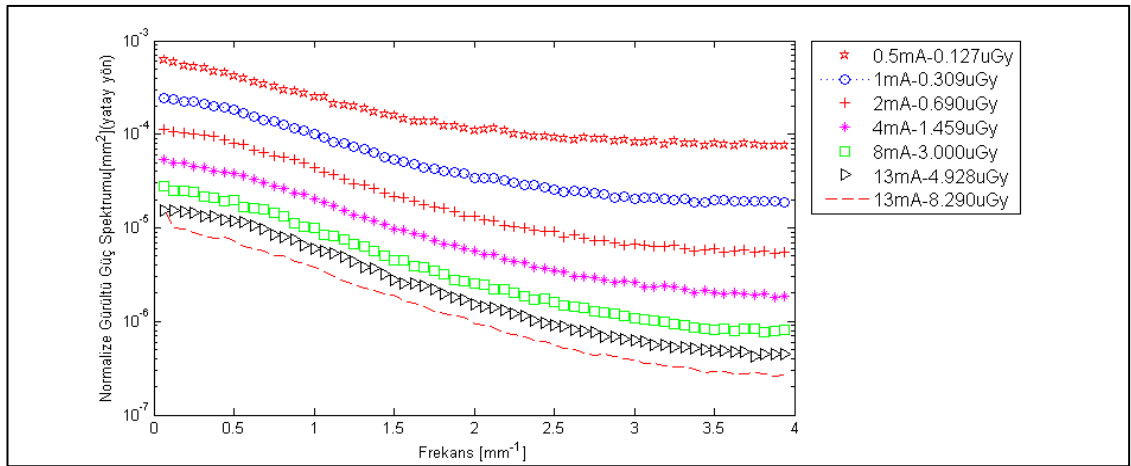
Şekil 4.80 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



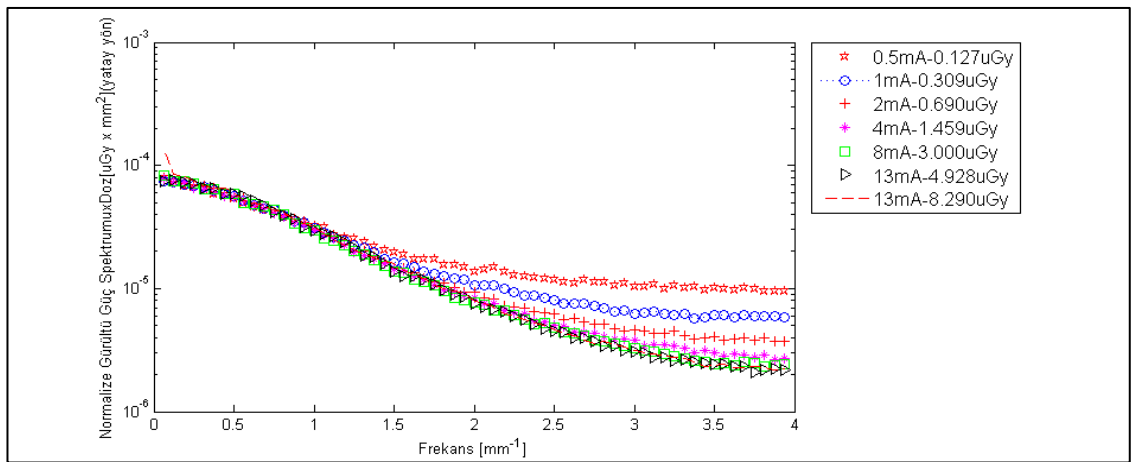
Şekil 4.81 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) dikey yöndeki NNPS sonuçları.



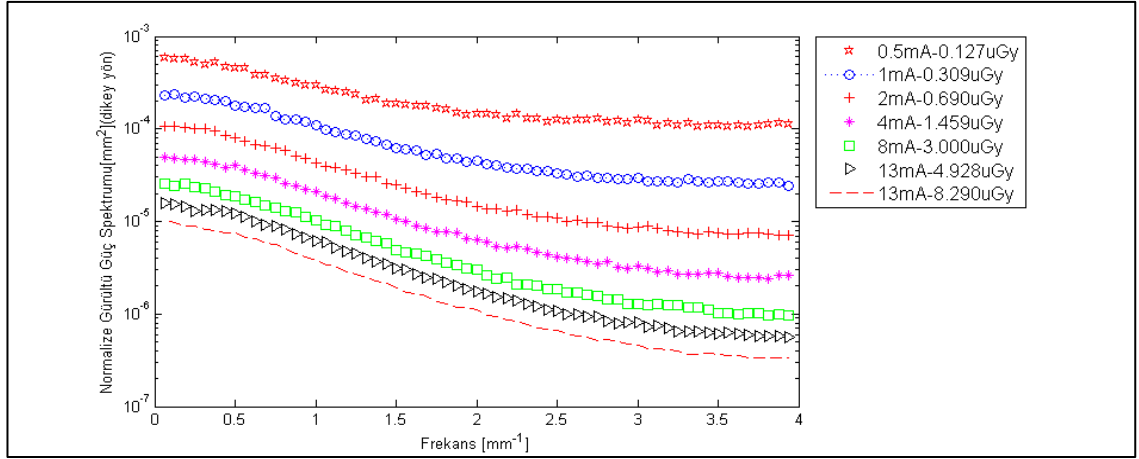
Şekil 4.82 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış gridli ($f=60lp/cm$) dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



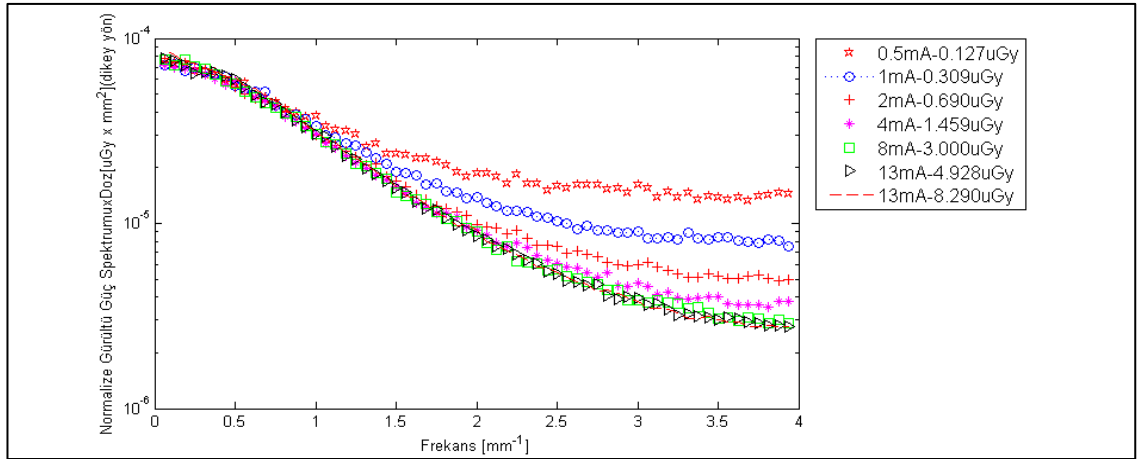
Şekil 4.83 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPS sonuçları.



Şekil 4.84 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu yatay yöndeki NNPSxDoz sonuçları.



Şekil 4.85 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu dikey yöndeki NNPS sonuçları.

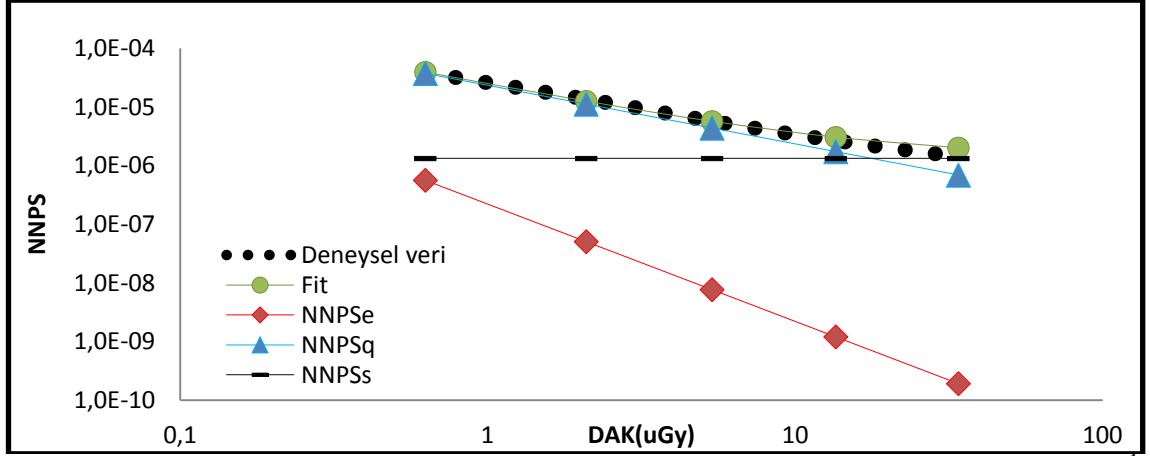


Şekil 4.86 PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu dikey yöndeki NNPSxDoz sonuçları.

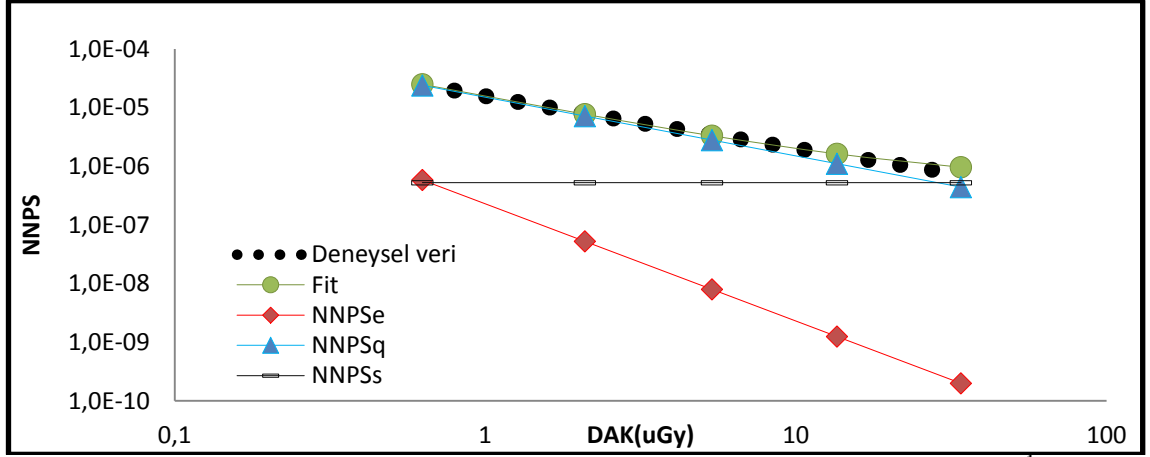
4.5 Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrisinde Gürültü Bileşenlerinin Davramışının İncelendiği Sonuçlar

Bu çalışma hem gridli hemde gridsiz olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Üç sisteme ait sonuçlar aşağıda verilmiştir. Kullanılan gridlerinin özelliği DRX-1C için $f=60lp/cm$, $r=10:1$, Toshiba FDX4343R için $f=40lp/cm$, $r=12:1$, PaxScan için ise $f=60lp/cm$, $r=10:1$ 'dir. RQA-7 demet kalitesinde hesaplanmış NNPS verilerine ait yatay ve dikey verilerden sadece dikey yönde olanlar verilmiştir.

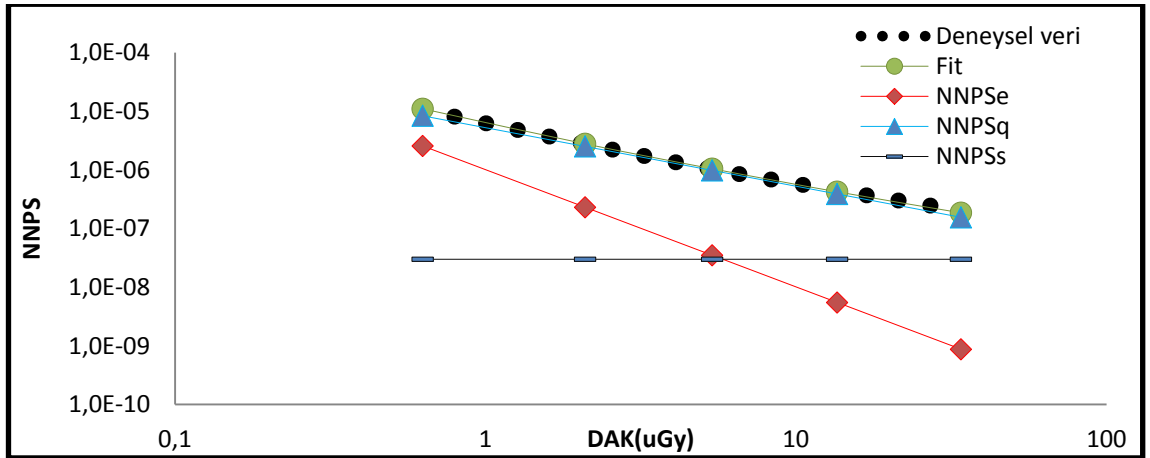
A) DRX-1C



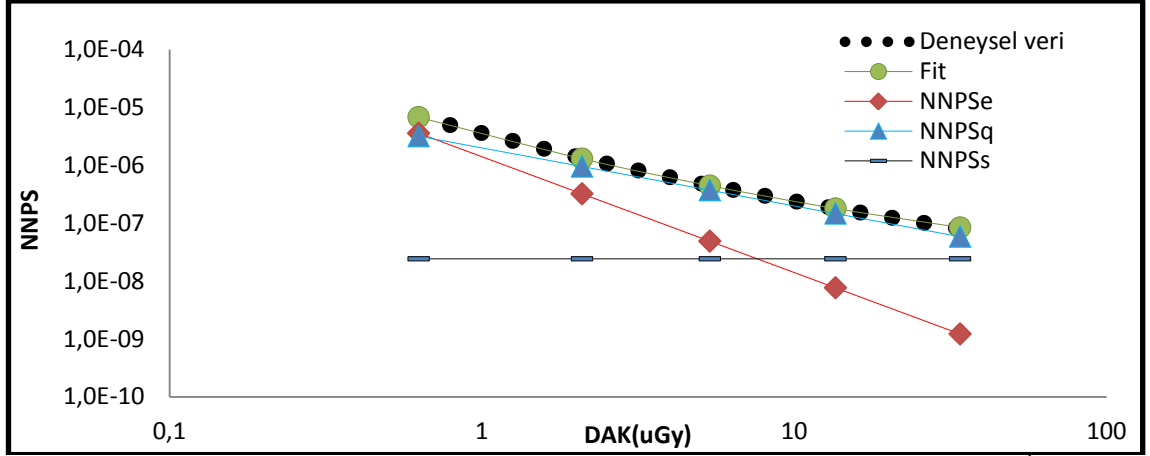
Şekil 4.87 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekans değerinde farklı gürültü kaynaklarının davranışı.



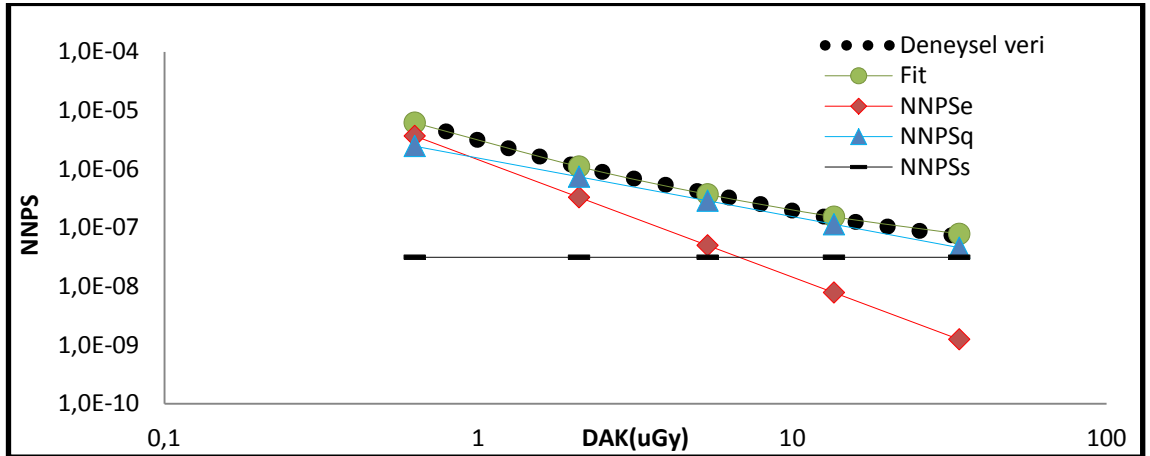
Şekil 4.88 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



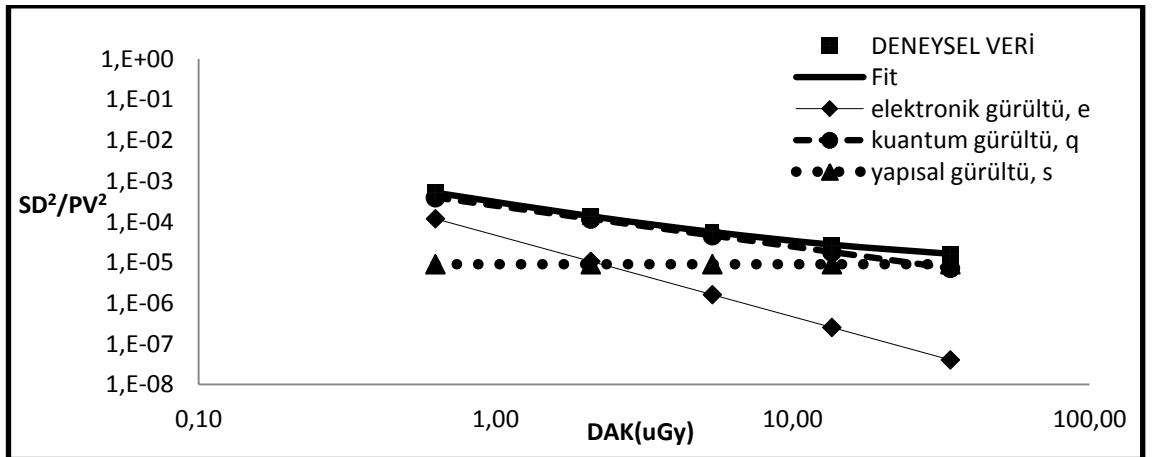
Şekil 4.89 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



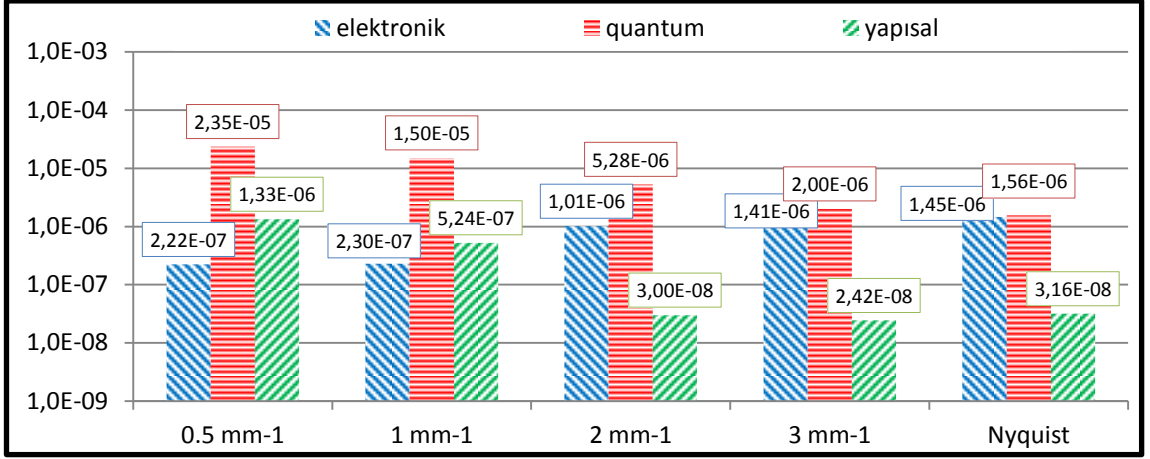
Şekil 4.90 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



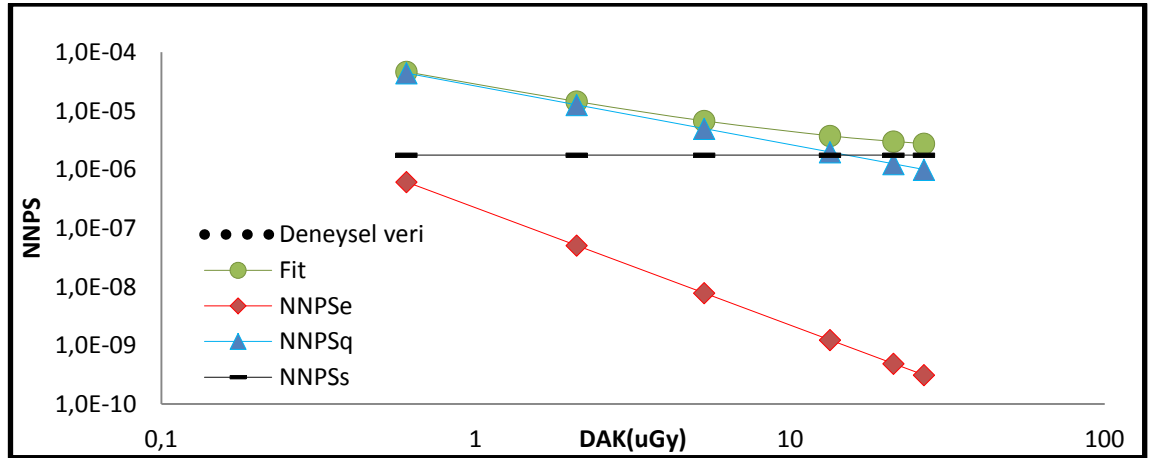
Şekil 4.91 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



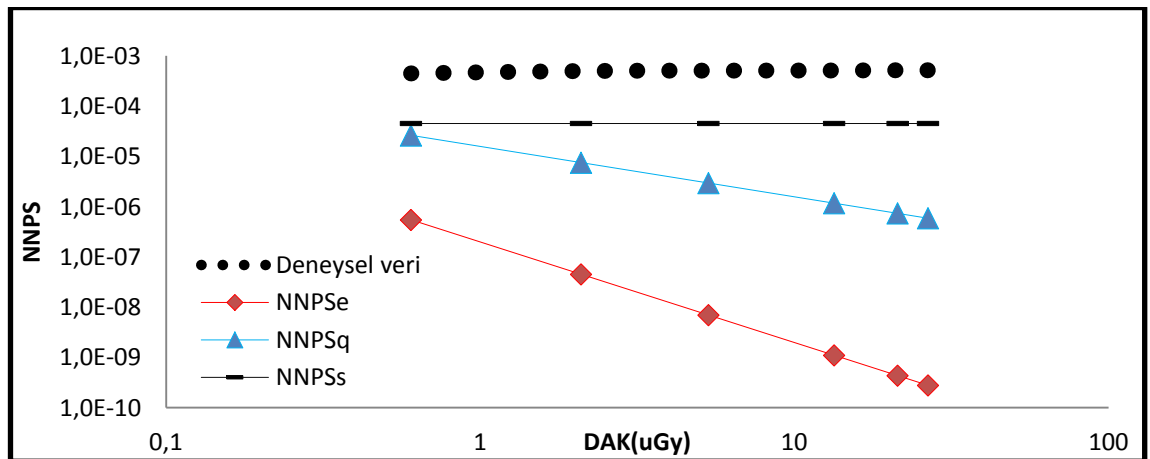
Şekil 4.92 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 -DAK grafiği.



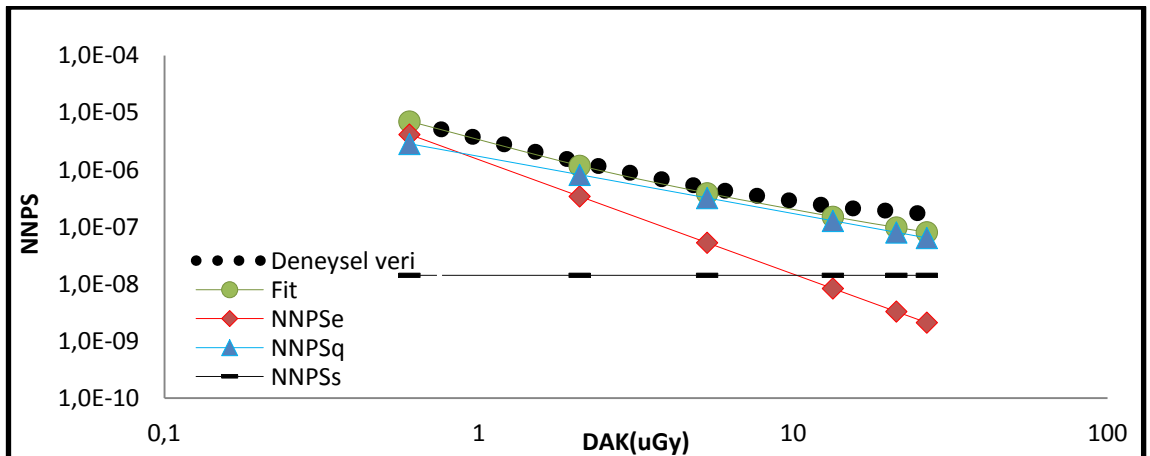
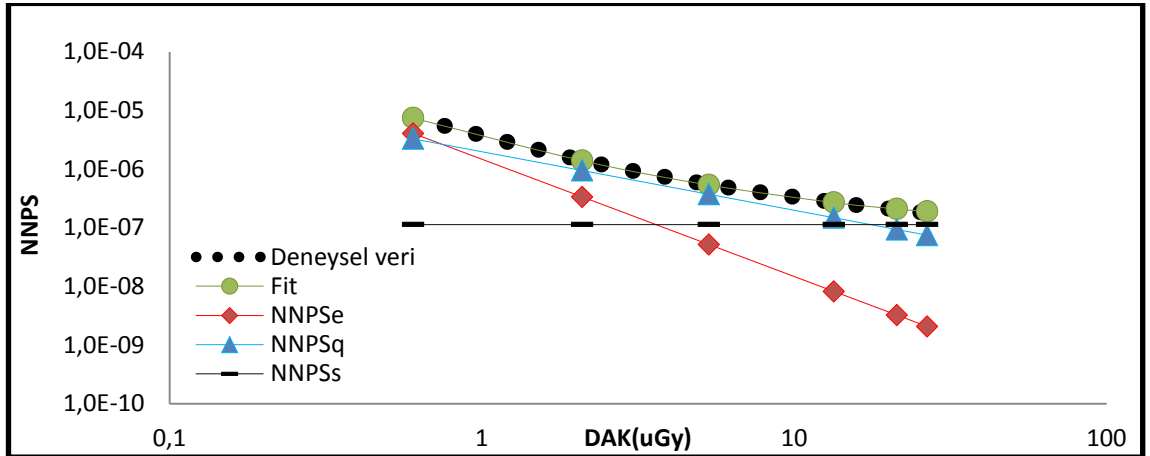
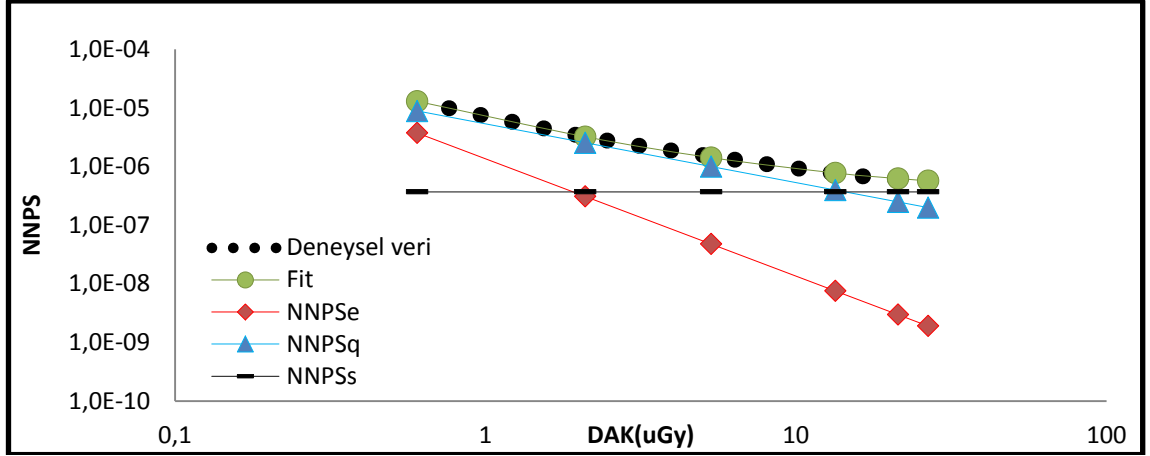
Şekil 4.93 DRX-1C sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.

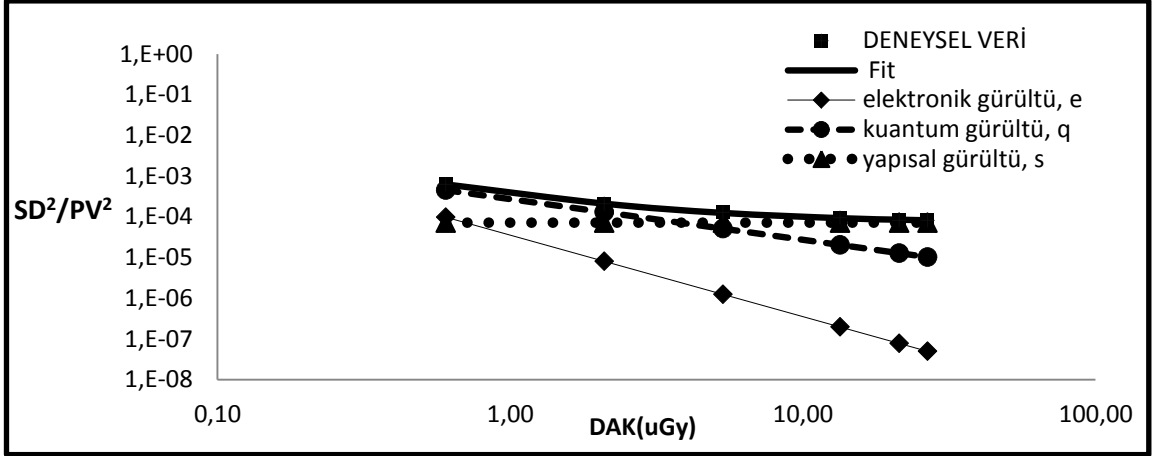


Şekil 4.94 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı

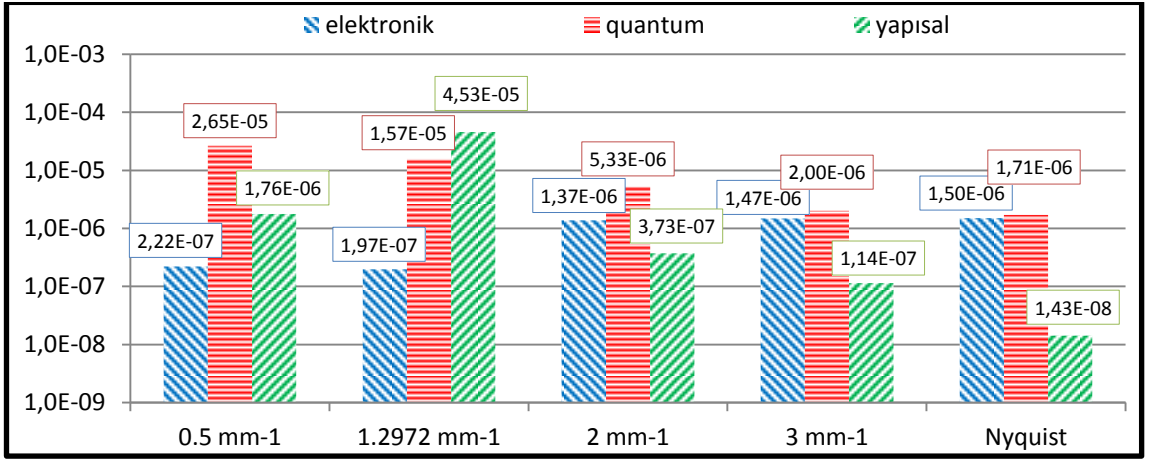


Şekil 4.95 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1.29 mm^{-1} frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı



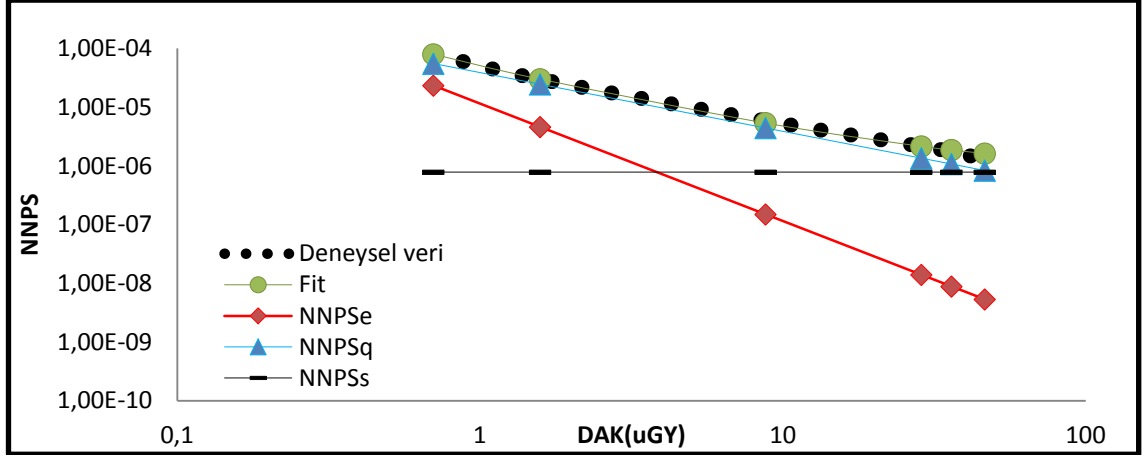


Şekil 4.99 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 - DAK grafiği.

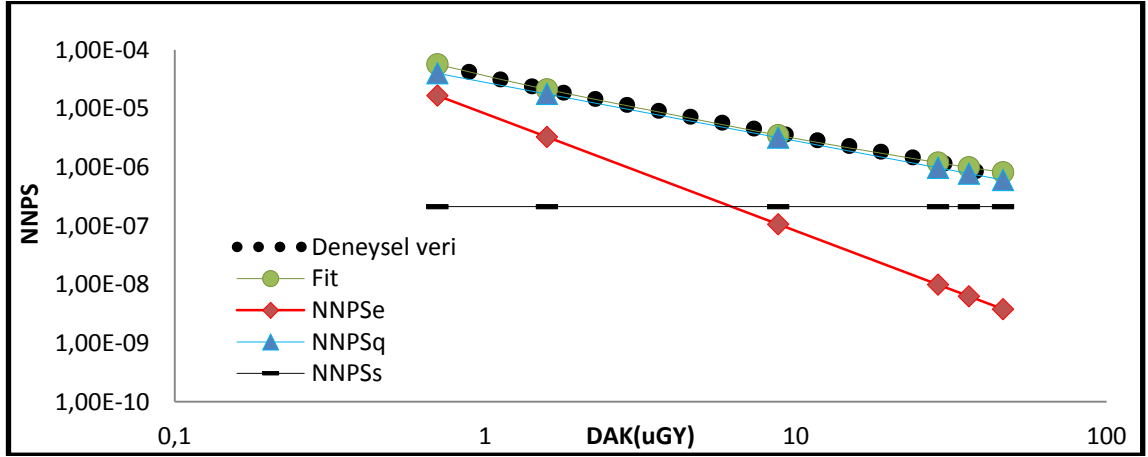


Şekil 4.100 DRX-1C sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.

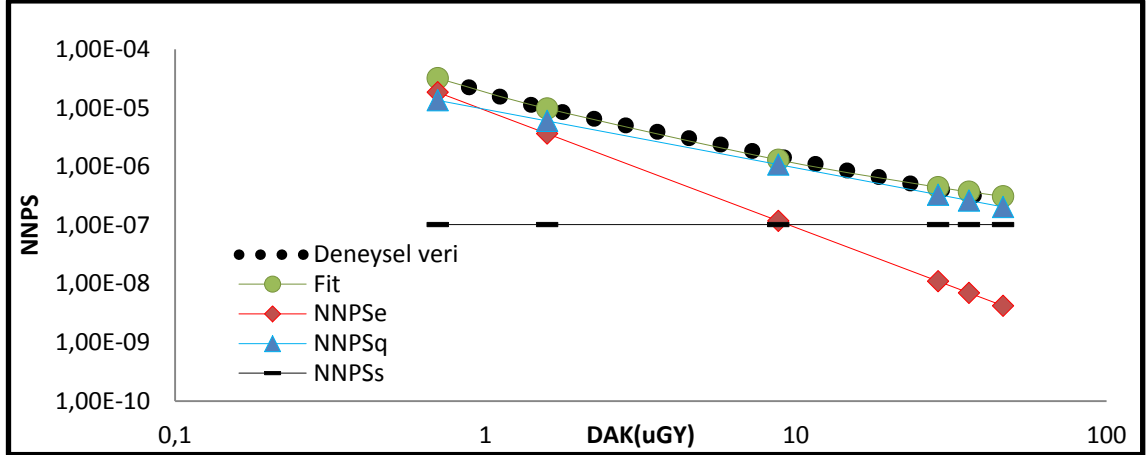
B) Toshiba FDX4343R



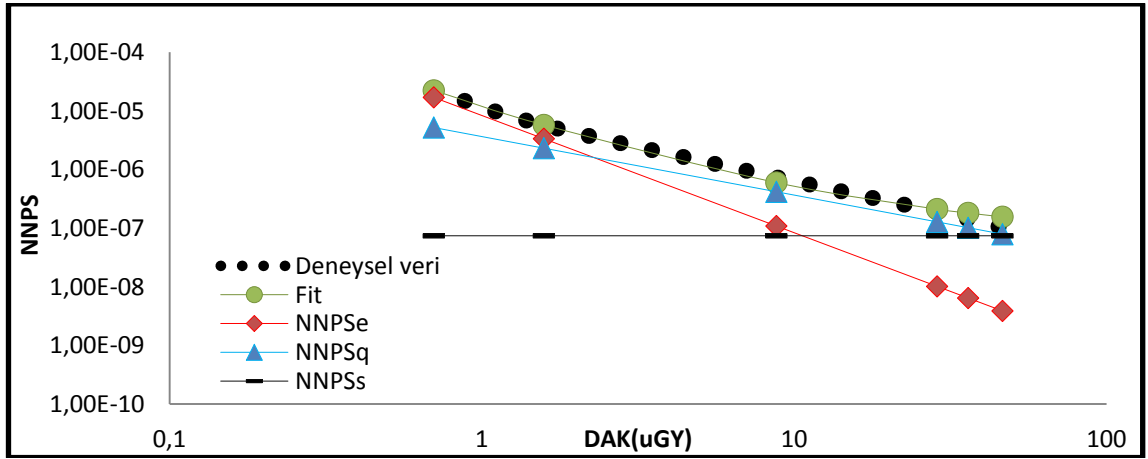
Şekil 4.101 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



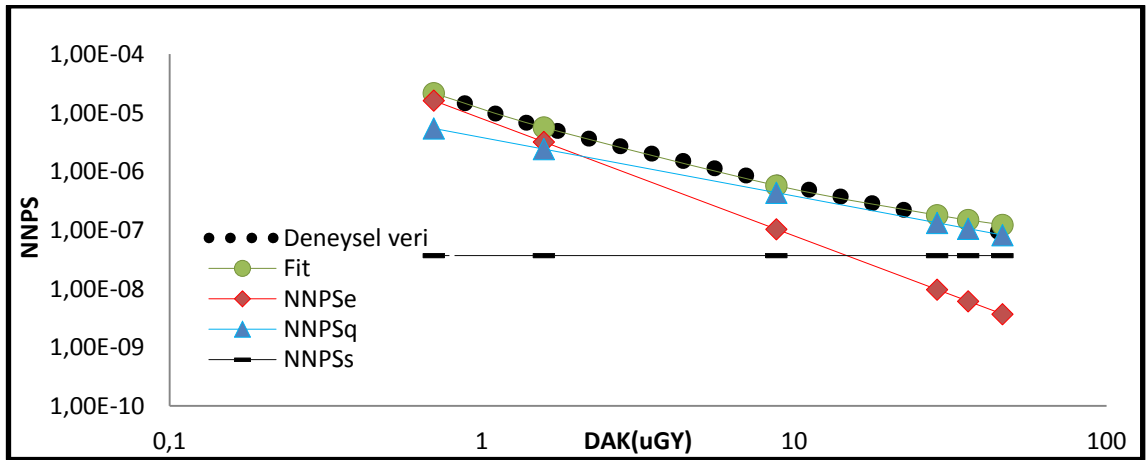
Şekil 4.102 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



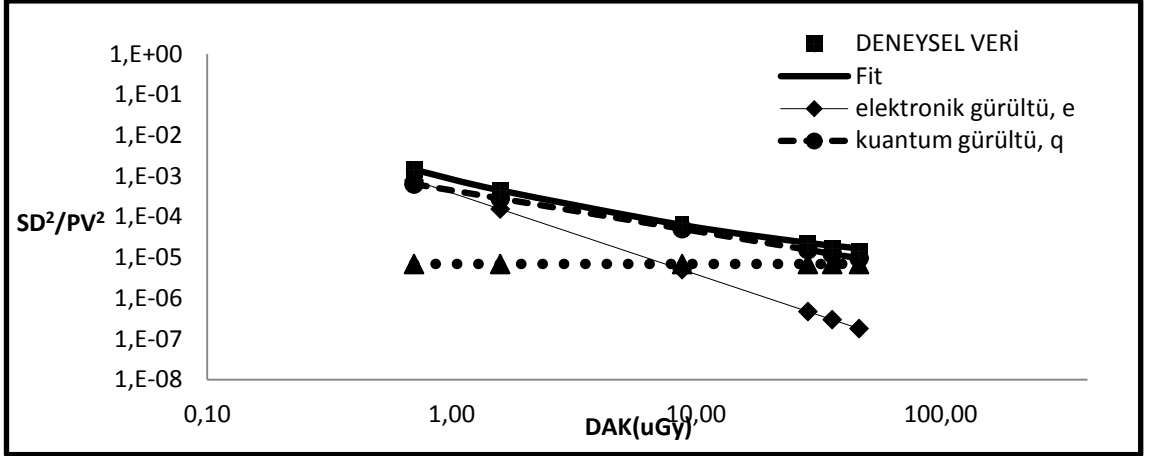
Şekil 4.103 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



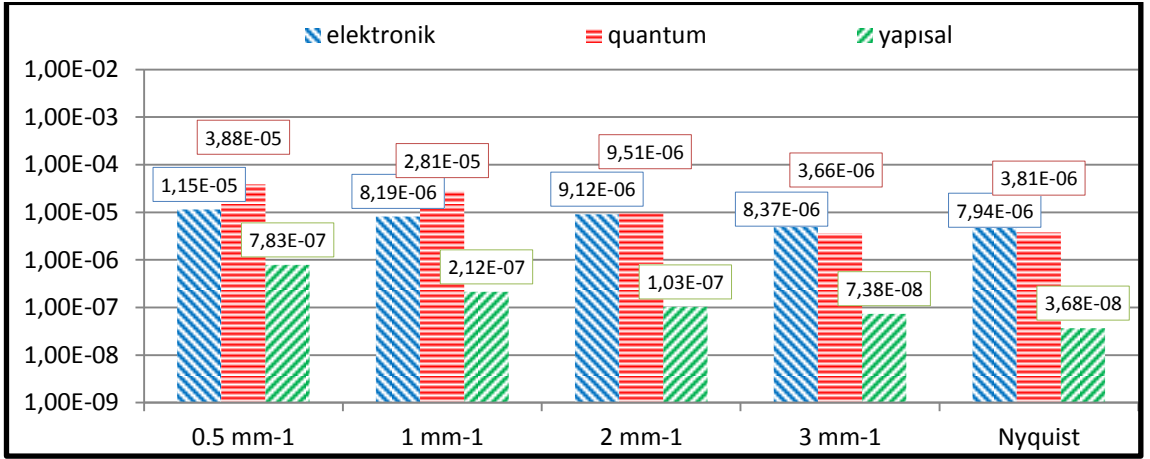
Şekil 4.104 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



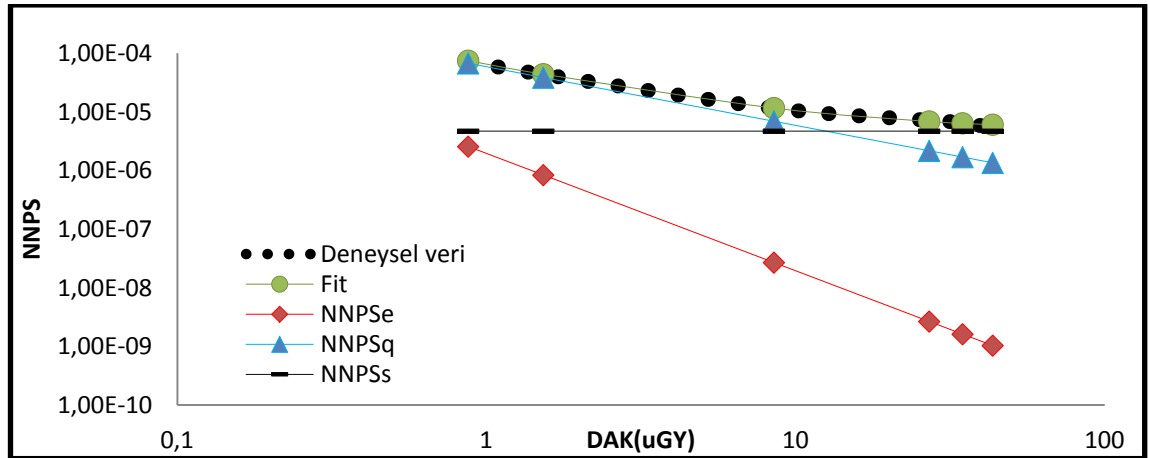
Şekil 4.105 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



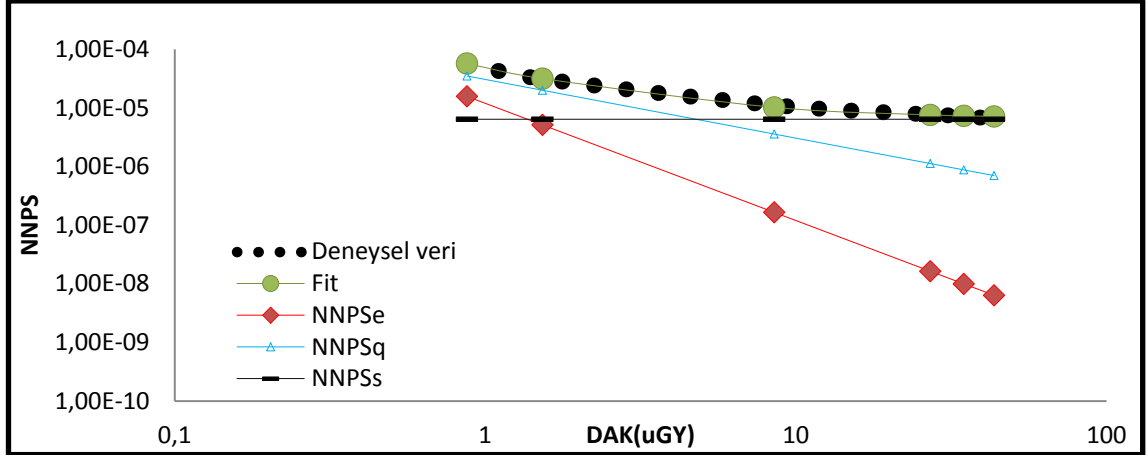
Şekil 4.106 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 -DAK grafiği.



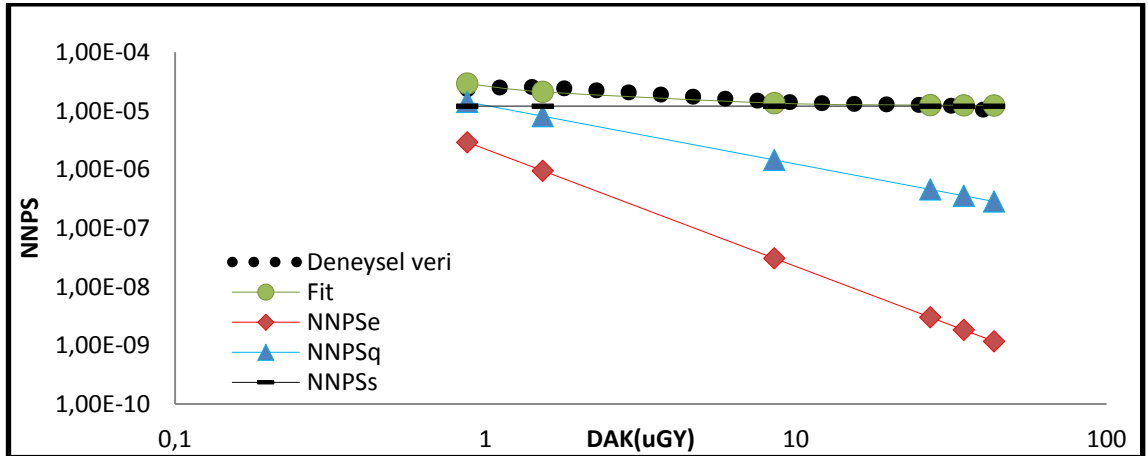
Şekil 4.107 Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.



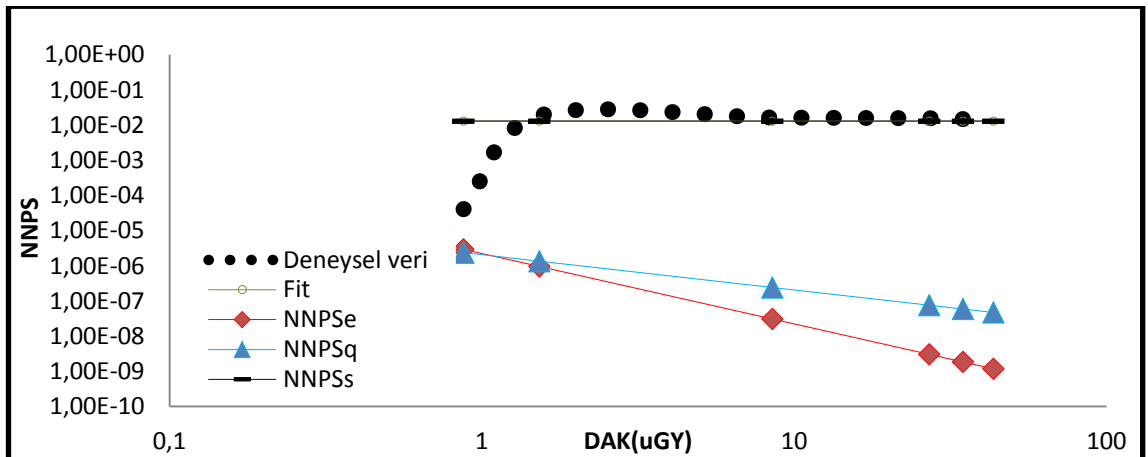
Şekil 4.108 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40lp/cm$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.



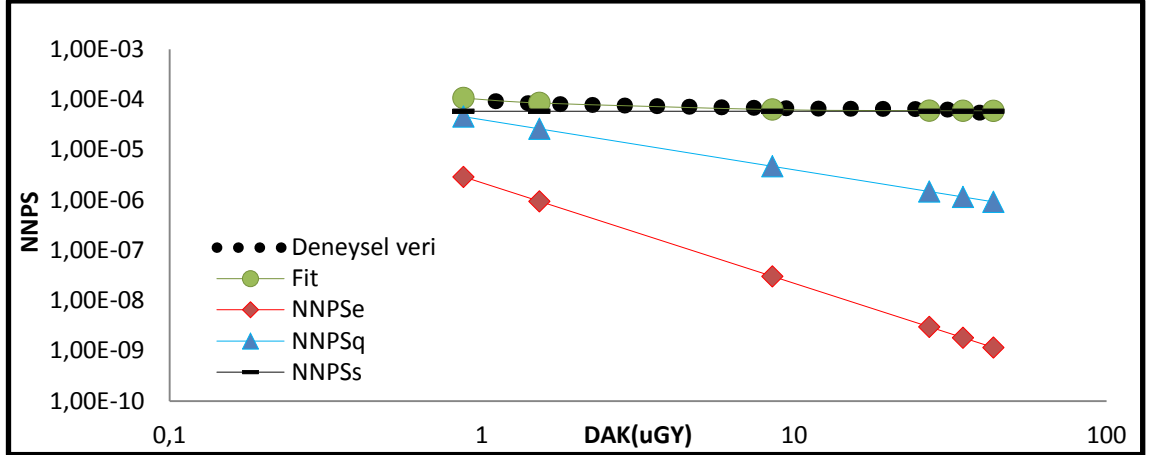
Şekil 4.109 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.



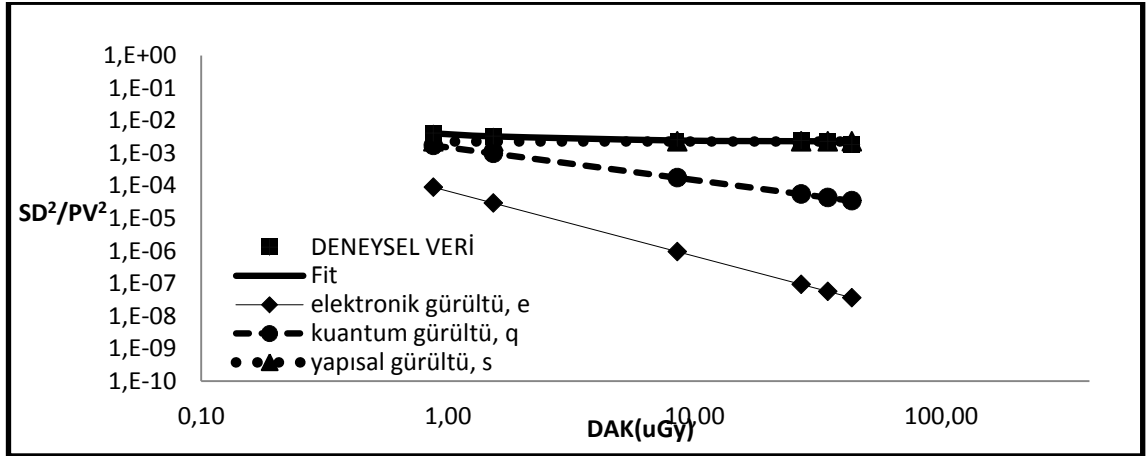
Şekil 4.110 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.



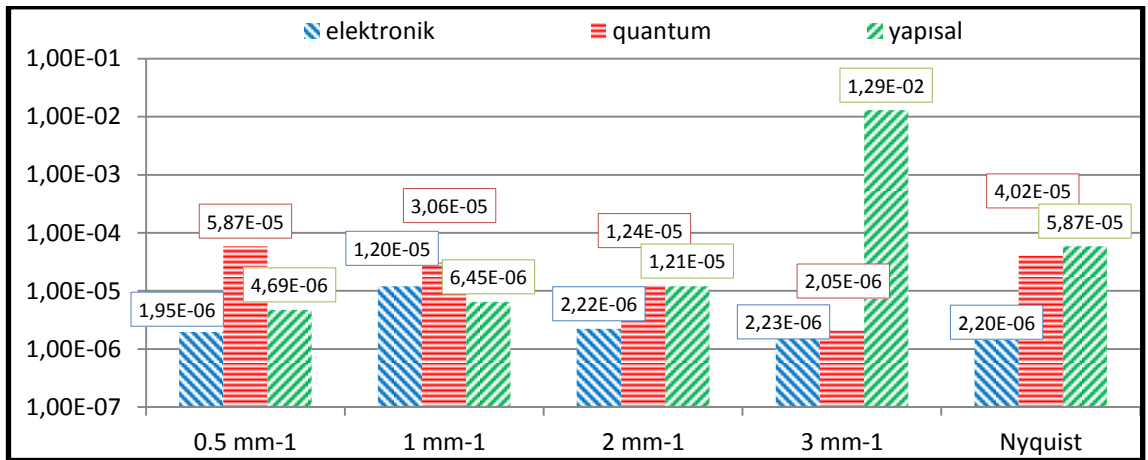
Şekil 4.111 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.



Şekil 4.112 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü davranışı.

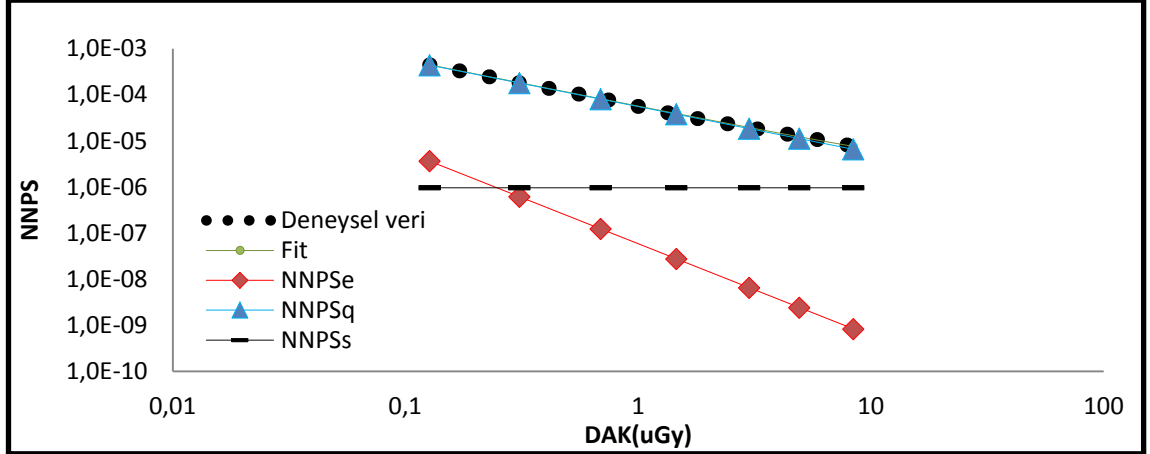


Şekil 4.113 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 - DAK grafiği.

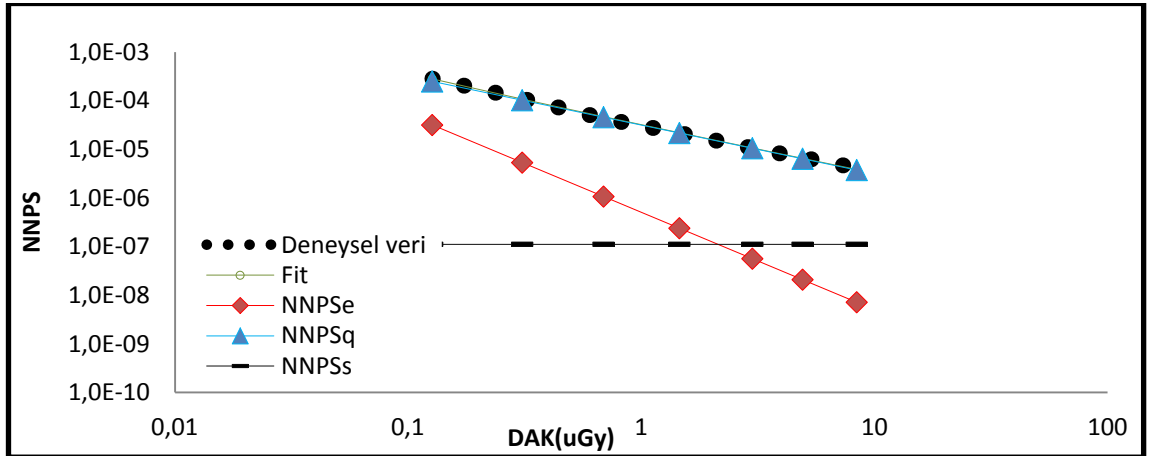


Şekil 4.114 Toshiba FDX4343R sisteminde gridli ($f=40\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.

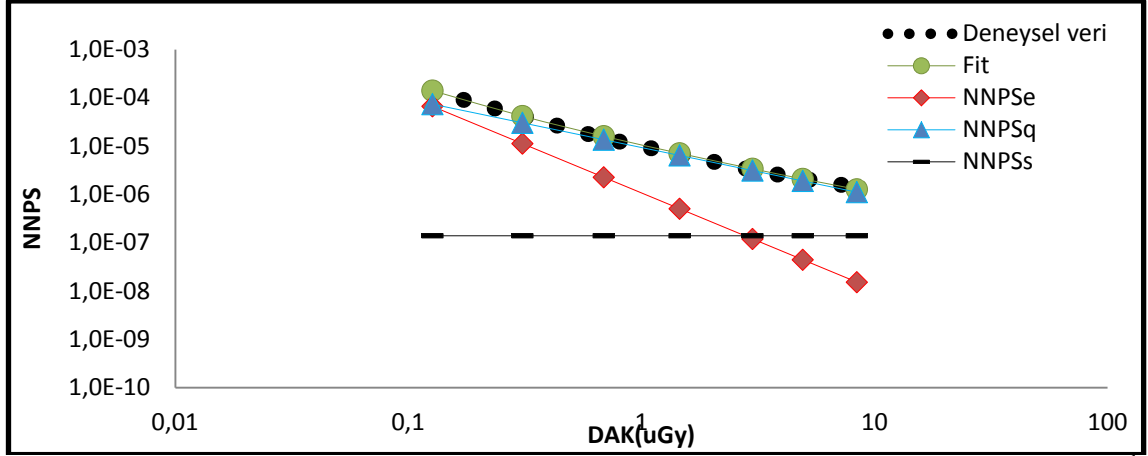
C) PaxScan



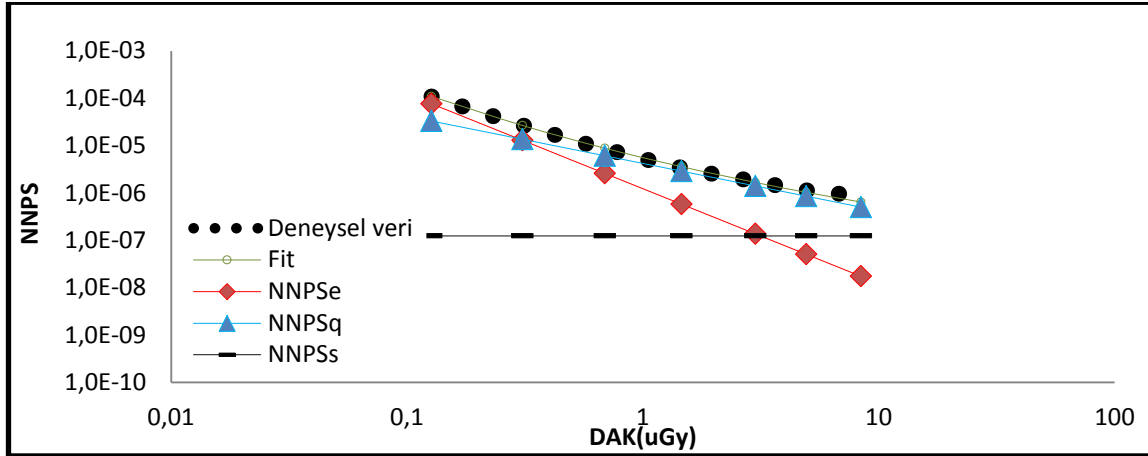
Şekil 4.115 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



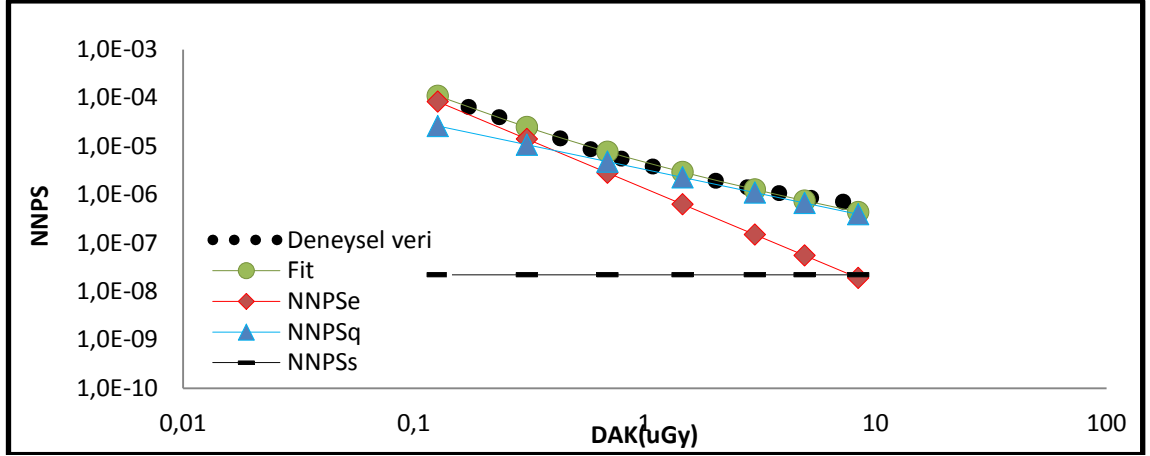
Şekil 4.116 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



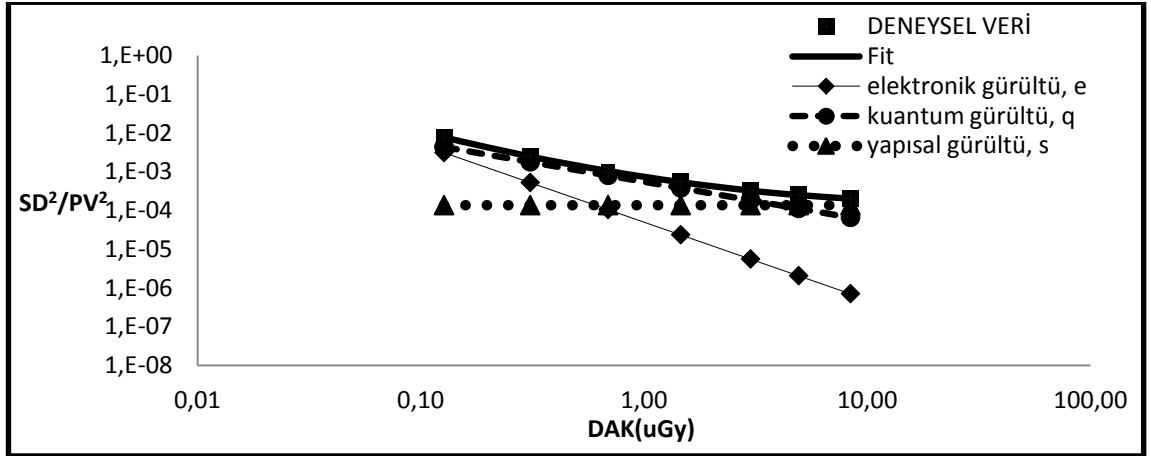
Şekil 4.117 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



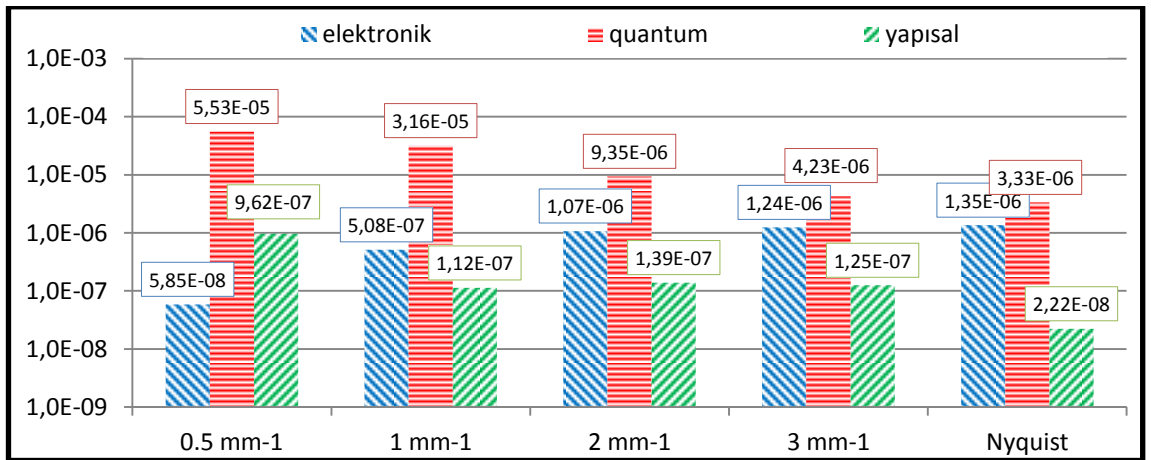
Şekil 4.118 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



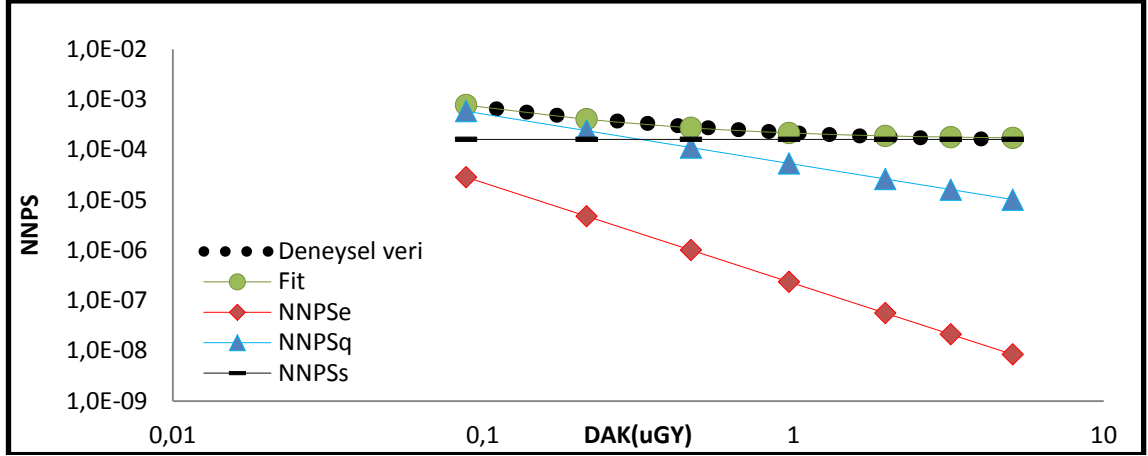
Şekil 4.119 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



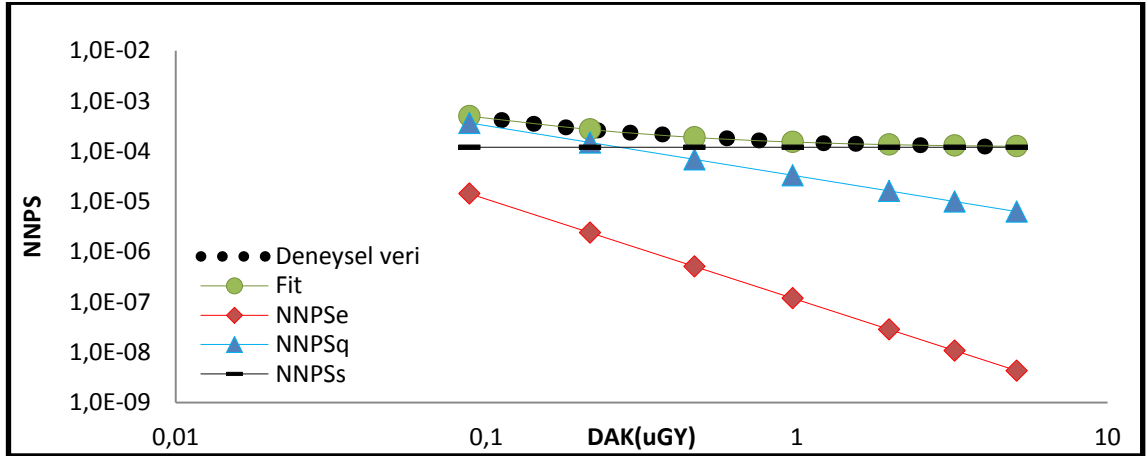
Şekil 4.120 PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 -DAK grafiği.



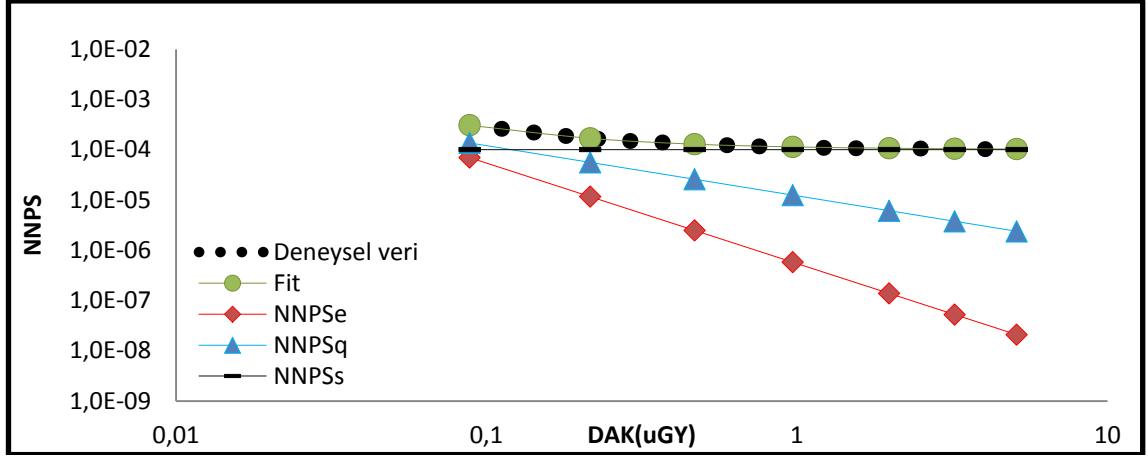
Şekil 4.121. PaxScan sisteminde gridsiz olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.



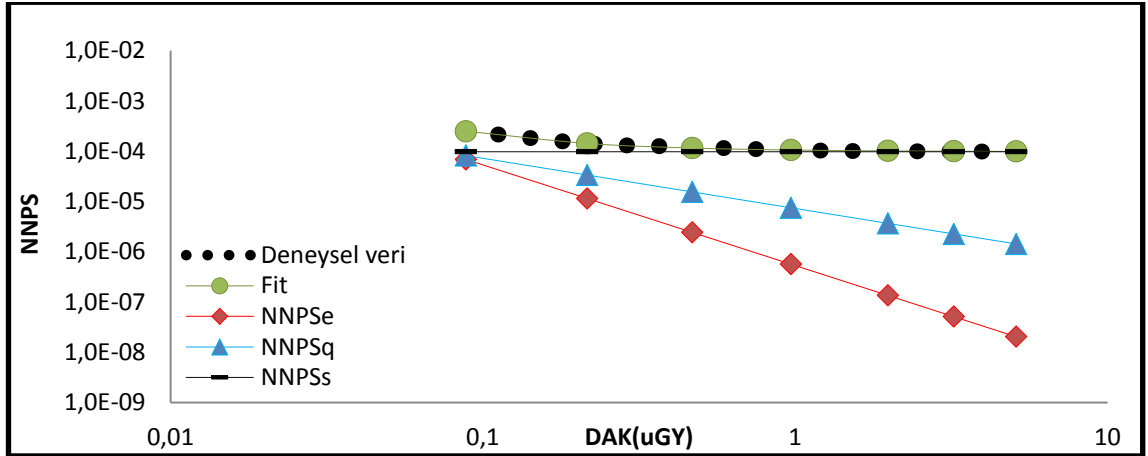
Şekil 4.122 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 0.5 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



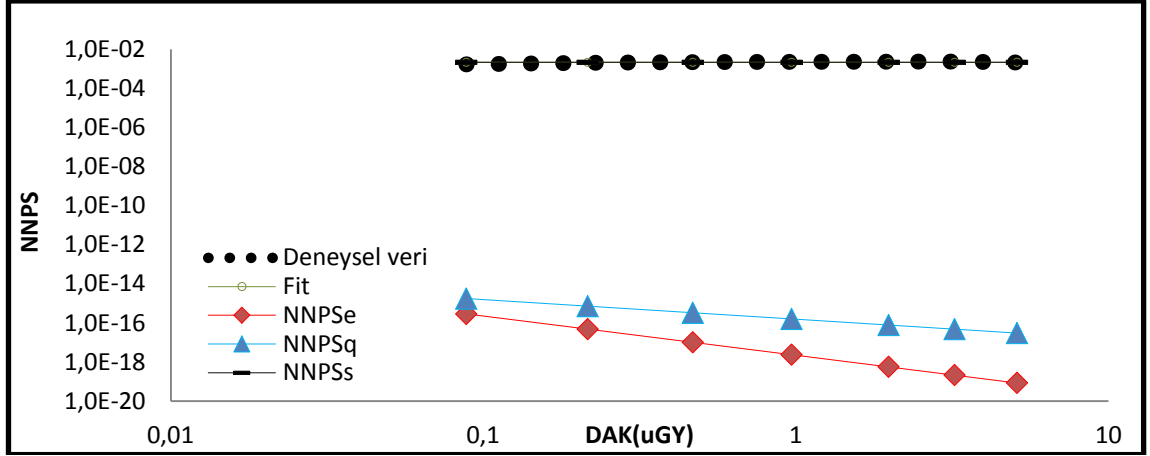
Şekil 4.123 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 1 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



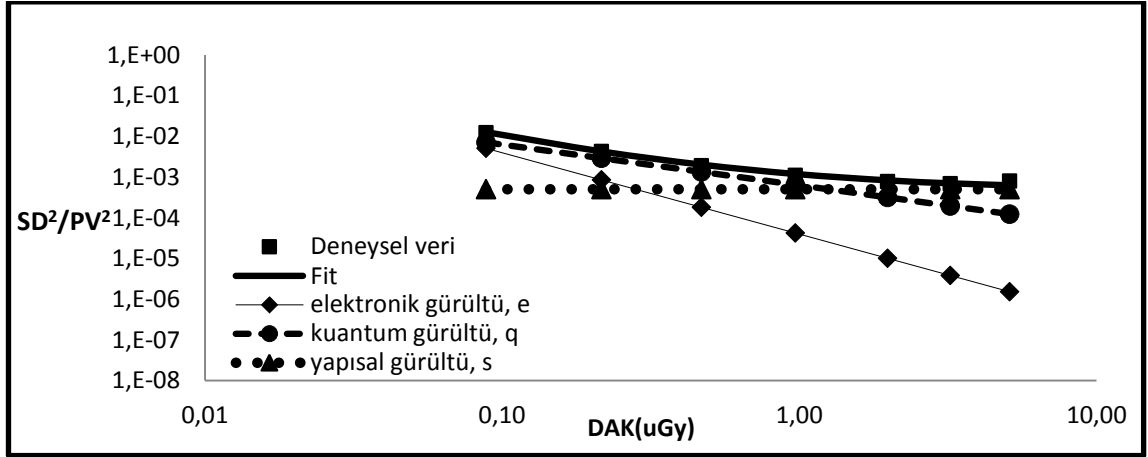
Şekil 4.124 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 2 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



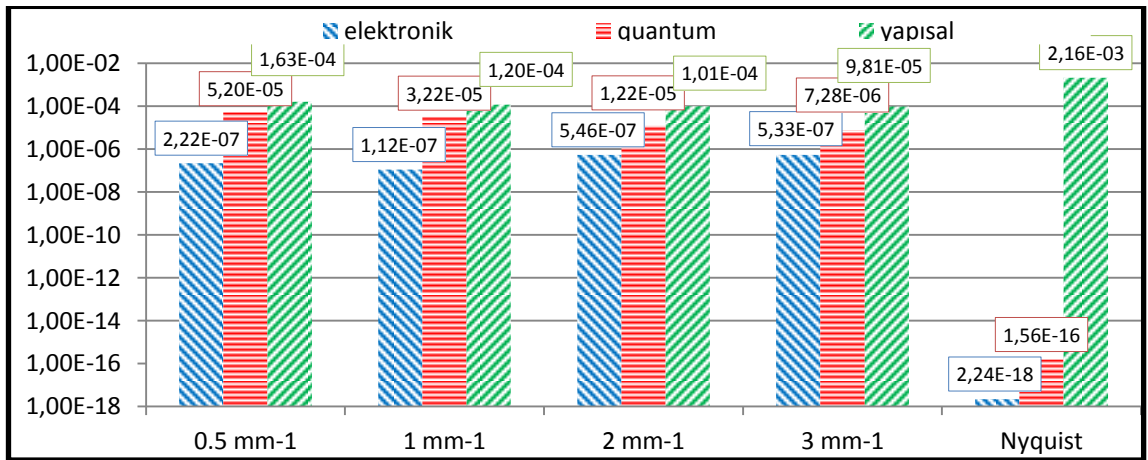
Şekil 4.125 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki 3 mm^{-1} frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



Şekil 4.126 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS eğrisindeki Nyquist frekansına karşılık gelen frekans değerindeki gürültü kaynaklarının davranışı.



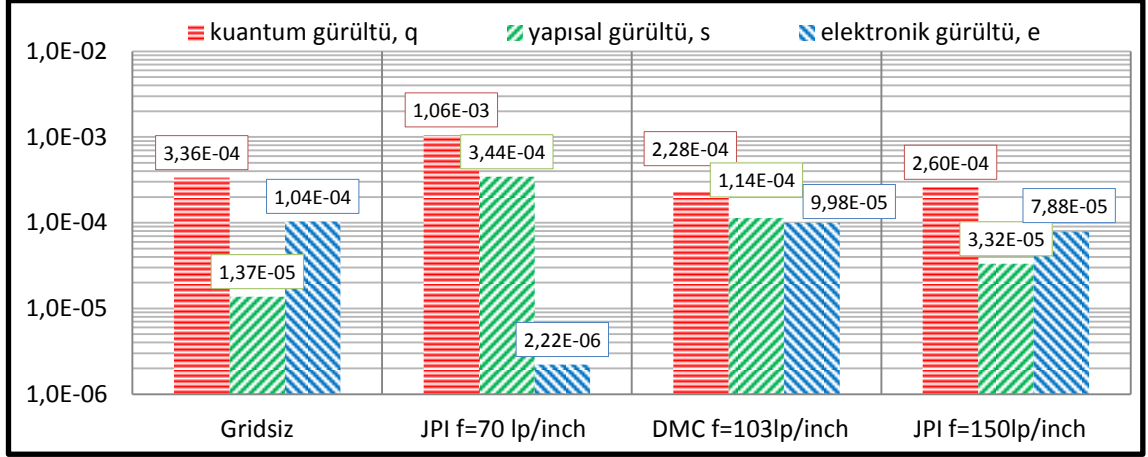
Şekil 4.127 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış ölçümde uzaysal ortamda gürültü karakteristiğinin incelenmesi için çizdirilen SD^2/PV^2 - DAK grafiği.



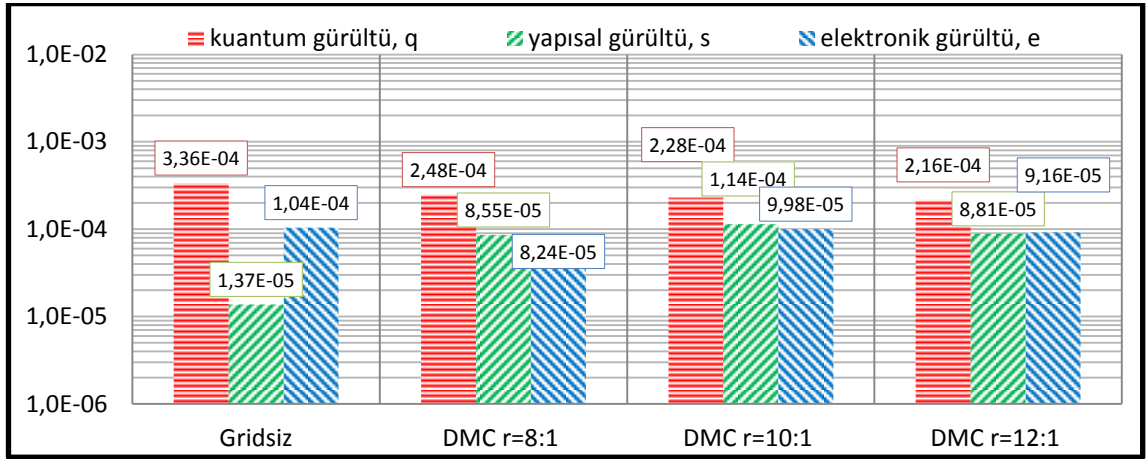
Şekil 4.128 PaxScan sisteminde gridli ($f=60\text{lp/cm}$) olarak alınmış NNPS-DAK grafiklerinden elde edilen gürültü katsayılarının histogram şeklinde gösterimi.

4.6 Farklı Grid Özelliklerinin Gürültü Üzerinde Etkisinin Sonuçları

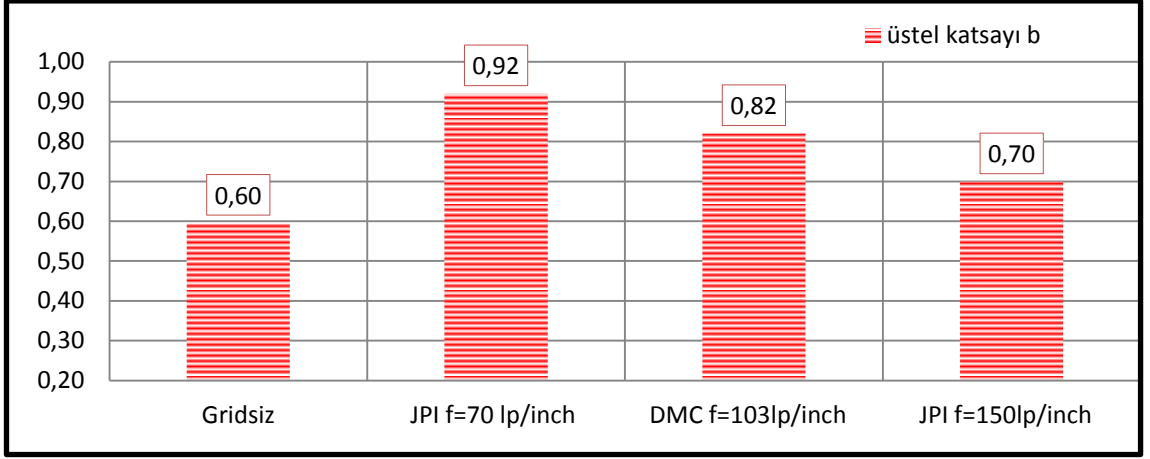
Bu bölümde gridli ölçümlerde, grid frekansı ve grid oranının gürültü üzerinde etkisinin incelenmesinde çizdirilen RSD-DAK ve STD-DAK eğrilerine ait gürültü katsayı barları verilmiştir.



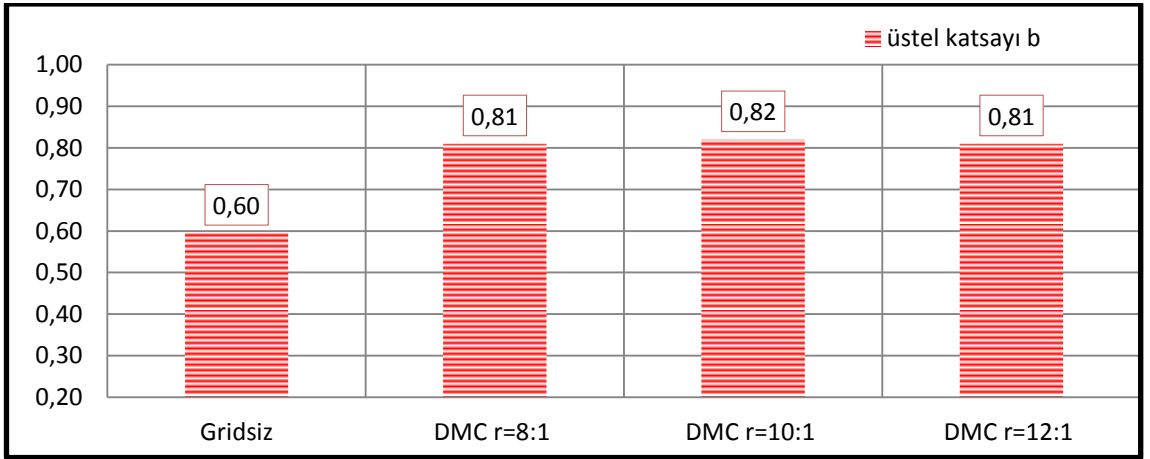
Şekil 4.129 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.



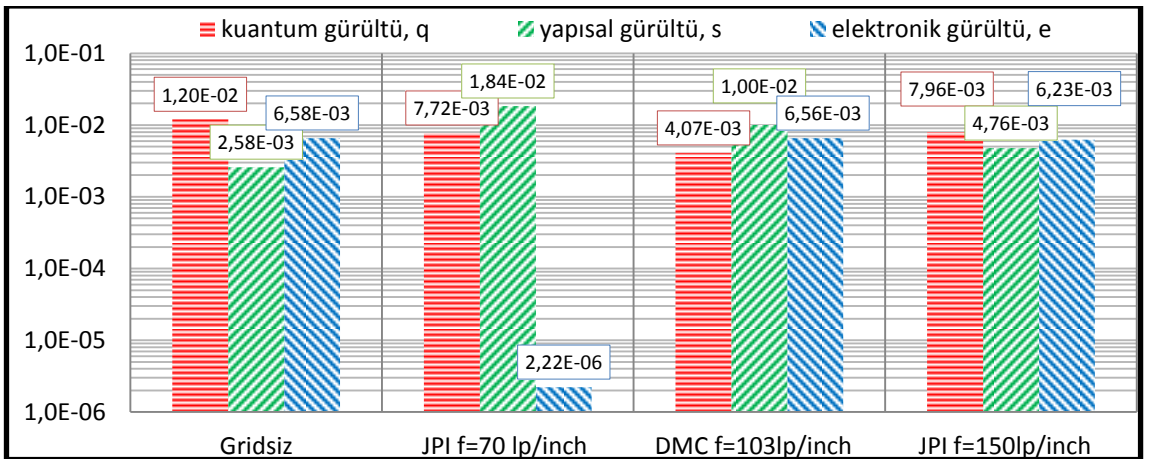
Şekil 4.130 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.



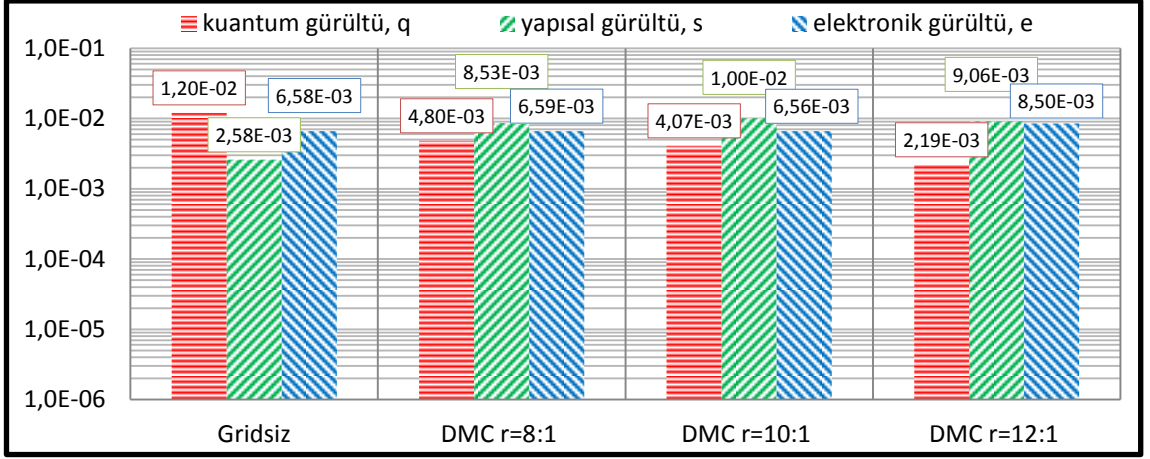
Şekil 4.131 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen üstel katsayılar.



Şekil 4.132 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen STD-DAK eğrisinden elde edilen üstel katsayılar.



Şekil 4.133 Değişen grid frekansının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen RSD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.



Şekil 4.134 Değişen grid oranının gürültü bileşenleri üzerinde etkisini incelemek için çizdirilen RSD-DAK eğrisinden elde edilen katsayılar.

5. TARTIŞMA

Ölçümler sırasında çalışılan 5 dedektörde ışınlama konsolunda ayarlanabilen minimum mAs değerine karşılık gelen doz değerlerinden itibaren dedektörün doyuma ulaştığı en yüksek doz değerine kadar farklı doz değerlerinde gürültü ölçümü yapılmıştır. Ön çalışmada, ölçümler için filtre olarak bakır kullanılmış, düşük dozlara inilmiş fakat çalışmayı daha geniş doz aralığında değerlendirmek için gerekli yüksek dozlara çıkılamamıştır. Ayrıca bakırlardaki homojenite bozuklukları görüntüde artefaktlar oluşturmuştur. Bundan dolayı ölçümlerde filtre olarak RQA demet kaliteleri kullanılmıştır.

Gürültü ölçümlerinde doğrusal sistem teorisini uygulamak için STP denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen STP denklemlerinin davranışı DRX-1C sistemi için logaritmik, Toshiba FDX4343R için doğrusal, Trixell Pixium 4600 için logaritmik, Siemens Mammomat Inspiration için doğrusal, PaxScan için doğrusal bulunmuştur. Elde edilen STP denklemlerine ait korelasyon katsayıları(R^2) en az 0.99 bulunmuş ve STP için IPEM(Report Number 32, Part VII 2010)'daki kabul şartı sağlanmıştır.

5.1 Standart Sapma – DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi

A) DRX-1C

DRX-1C sisteminde RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde gridsiz alınan verilerden çizilen STD-DAK(μGy) eğrileri incelendiğinde, hesaplanan katsayılardan kuantum gürültüye ait katsayı(q) Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, RQA-3 için $3.32\text{E}-04$, RQA-5 için $2.53\text{E}-04$, RQA-7 için $2.67\text{E}-04$ ve RQA-9 için $3.82\text{E}-04$ bulunmuştur. Bu katsayı değerleri, her demet kalitesinde diğer gürültü katsayılarından daha yüksek bulunmuştur. Ölçümlerin alındığı doz aralığında, kuantum gürültüye ait katsayının büyük çıkması ile dedektörde bu demet kalitelerinde kuantum gürültünün baskın olan gürültü kaynağı olduğu anlaşılır.

Çizdirilen STD-DAK eğrileri üstel bir fonksiyon olarak incelendiğinde elde edilen b katsayıları Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde sırasıyla 0.54, 0.58, 0.58 ve 0.57 bulunmuştur. Üstel değerlerin 0.5 değerine yakın değerlerde bulunması dedektörün kuantum sınırlı davranışı olarak açıklanır. Bu

değer ne kadar 0.5 değerine yaklaşırsa ölçüm alınan sistem ideal sistem davranışına yaklaşır. Bu sistem için $b > 0.5$ için oluşan farklar sistemde yapısal gürültünün varlığını ve boyutunu göstermektedir.

RQA-7 demet kalitesinde 60lp/cm frekansa sahip grid kullanılarak alınan ölçümlerden çizdirilen STD-DAK(μGy) eğrisi dikkate alındığında kullanılan gridin gelen primer fotonları soğurması ve grid artefaktın görüntüde yapısal gürültüyü artırması nedeniyle, gridsiz ölçüm ile kıyaslandığında, yapısal gürültüye ait katsayısının(s) Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi $6.46\text{E}-06$ 'den $7.47\text{E}-05$ 'e yükseldiği görülmüştür.

Aynı DAK değerlerinde kazanç ve offset kalibrasyonları yapıldıktan sonra gridsiz alınan gürültü ölçümleri ile kalibrasyonların yapılmadığı gridsiz ölçümler kıyaslandığında; kuantum gürültüye ait katsayının(q) Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi $2.67\text{E}-04$ 'den $3.16\text{E}-04$ 'e yükseldiği, yapısal gürültüye ait katsayının(s) $6.46\text{E}-06$ 'den $8.71\text{E}-07$ 'a düştüğü, elektronik gürültüye ait katsayının(e) $7.75\text{E}-06$ 'den $2.00\text{E}-06$ düştüğü, üstel katsayının ise 0.58 'den 0.52 'e düştüğü gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre kazanç kalibrasyonunun sistemdeki yapısal gürültüyü iyileştirdiği, offset kalibrasyonunun elektronik gürültüyü iyileştirdiği söylenebilir. Kalibrasyonlar ile üstel değer 0.5 değerine yaklaşmasıyla ve kuantum gürültüye ait katsayısının(q) artmasıyla, ölçümlerin alındığı DRX-1C sisteminin, ideal sisteme ait kuantum sınırlı davranışına yaklaştığı söylenebilir.

B) Toshiba FDX4343R

Toshiba FDX4343R sistemine ait RQA-3 demet kalitesinde alınmış veriler değerlendirildiğinde elektronik gürültüye ait katsayı değeri(e) Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi $1.96\text{E}-03$ bulunmuştur. Bu değer diğer gürültü kaynaklarına ait katsayı değerinden daha yüksek bulunmuştur. Katsayı değerleri büyüklük sırasına göre $e > q > s$ şeklinde bulunmuştur. Üstel katsayı ise bu demet kalitesinde 0.345 olarak 0.5'ten daha düşük bulunmuştur. Böyle bir değer sistemde ek gürültü kaynaklarının varlığını ve gürültünün elektronik kaynaklı olduğunu göstermektedir. RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde alınmış veriler değerlendirildiğinde katsayı değerleri büyüklük sırasına göre $q > e > s$ şeklinde bulunmuştur. RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde elde edilen üstel katsayı değerleri sırasıyla 0.45, 0.47 ve 0.45 bulunmuştur. RQA-3 demet kalitesinde gürültü analizinde quantum gürültüden baskın olan elektronik gürültünün RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde baskın olmamasının nedeni, RQA-3 demet

kalitesinde diğer demet kalitelerine göre daha düşük dozlara inilmesinden kaynaklanmaktadır. Bulunan üstel değerlerin 0.5'ten düşük çıkması sistemde ek elektronik gürültü kaynaklarının varlığını göstermektedir. Bu durum RQA-3 demet kalitesinin kullanıldığı daha fazla inilebilen düşük dozlarda daha belirginleşmektedir.

40lp/cm frekansa sahip grid ile alınmış ölçümler ile gridsiz alınmış ölçümler kıyaslandığında grid kullanımı ile yapısal gürültüye ait katsayının(s) $4.11E-07$ 'den $2.23E-03$ 'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Üstel katsayı değeri gridsiz ölçümde 0.47 iken gridli ölçümde 0.93 bulunmuştur. Bu sonuçlar neticesinde grid kullanımının yapısal gürültü katsayısını arttırdığı gözlemlenmiştir.

C) Trixell Pixium 4600

Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde gridsiz alınan verilerden çizilen STD-DAK(μ Gy) eğrisi incelendiğinde, kuantum gürültüye ait katsayı(q) değerleri Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi diğer gürültü kaynaklarına göre daha büyük değerlerde hesaplanmıştır ve hesaplanan katsayılardan kuantum gürültüye ait katsayı(q) RQA-3 için $2.34E-03$, RQA-5 için $2.40E-03$, RQA-7 için $1.68E-03$ ve RQA-9 için $1.88E-03$ bulunmuştur. Bu demet kalitelerinde RQA-9 demet kalitesi hariç, gürültü katsayılarının büyükten küçüğe doğru sıralanışı $q > e > s$ şeklinde olmuştur. RQA 9 demet kalitesinde ise sıralama $q > s > e$ şeklindedir. Yapısal gürültü katsayıları(s) incelenecek olursa bu demet kalitelerinde RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 sırasıyla $3.17E-05$, $2.60E-05$, $3.43E-05$ ve $1.42E-04$ şeklindedir. RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde elde edilen üstel katsayı değerleri sırasıyla 0.57, 0.61, 0.63 ve 0.73 şeklindedir. Yapısal gürültü katsayıları(s) ve üstel katsayısı artan demet kalitesi ile artış gözlemlenmektedir.

RQA-7 demet kalitesinde 36 lp/cm frekansa sahip grid ile alınan ölçümler incelendiğinde, gridsiz ölçüme göre yapısal gürültü katsayısı(s)'nin Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi $3.43E-05$ 'den $1.05E-04$ ' e yükseldiği görülmektedir. Üstel değer gridli ölçümde 0.63 iken gridsiz ölçümde 0.63 iken gridli ölçüm ile 0.7'ye yükseldiği görülmektedir. Grid kullanımının yapısal gürültü bileşenlerinde yüksek bir artışa neden olmamasının nedeni, gridli ölçümlerde Philips sisteminin hareketli grid tasarımı kullanmasından kaynaklanmaktadır. Böyle bir yöntem ile görüntüde oluşacak grid gölgeleri grid

hareketi ile bulanıklaştırılarak grid gölgelerinin etkisi azaltılmaktadır. Bu durum grid artefakt etkenli yapısal gürültüyü iyileştirmektedir.

D) Siemens Mamomat Inspiration

Siemens Mamomat Inspiration sisteminde RQA-M1, RQA-M2 ve RQA-M3 demet kalitesinde gridsiz alınan verilerden çizilen STD-DAK(μ Gy) eğrileri incelendiğinde gürültü katsayıların büyükten küçüğe göre sıralınışı $e > q > s$ şeklinde olup, elektronik gürültüye ait katsayılar(e) Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi sırasıyla 8.75E-01, 6.34-01, 5.43E-01 bulunmuştur. Bu grafiklerdeki üstel katsayı değerleri sırasıyla 0.3, 0.35 ve 0.37 bulunmuştur. Artan demet kalitesiyle elektronik gürültüye ait katsayının azalması ve üstel katsayının 0.5 değerine yaklaşmasının nedeni düşük doz bölgesinde baskın olan elektronik gürültünün etkisinin kaybetmesinden kaynaklanmaktadır.

Literatürde Marshall vd. (2011)’nin yapmış olduğu çalışmada, Siemens Mamomat Inspiration sistemi için 28 kVp’de W/Rh hedef-filtre kombinasyonunda üstel katsayı değeri 0.33 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ölçümlerde 28 kVp’de Mo/Mo hedef-filtre kombinasyonunda(RQA-M2) yapmış olduğumuz çalışmaya göre elde edilen değer(0.35) ile uyum içerisindedir.

31 lp/cm frekansa sahip grid ile RQA-M3 demet kalitesinde alınan ölçümler incelendiğinde, gürültü katsayıların büyükten küçüğe göre sıralınışı gridsiz ölçümdeki gibidir. Gridsiz ölçüme göre yapısal gürültü katsayısının 2.13E-06’dan 7.04E-06’ya çıktığı görülmektedir. Fakat üstel katsayı, gridli ölçüm ile 0.37’den 0.35’e düşmüştür. Bunun nedeni kullanılan gridin gelen fotonları soğurması ile dedektöre daha az foton ulaşması sonucu düşük doz seviyelerine inilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapısal gürültünün grid kullanımı ile belirgin artış göstermemesinin nedeni Siemens sisteminde hareketli grid tasarımının kullanılmasıdır.

E) PaxScan

PaxScan sisteminde RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde alınmış gridsiz gürültü ölçümler incelendiğinde, kuantum gürültüye ait katsayı(q) bu 4 demet kalitesinde büyük çıkmıştır. RQA-3 demet kalitesinde katsayıların büyükten küçüğe göre sıralanması $q > e > s$ şeklinde olup diğer RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde bu sıralama $q > s > e$ şeklindedir. Katsayı değerleri RQA-3 ve RQA-5

demet kalitesinde sayısal olarak farklı olup mertebeler aynı bulunmuştur. Bu sonuçlara göre düşük dozlara inilebilen RQA-3 demet kalitesi ile elektronik gürültünün düşük dozlarda baskın olma durumu, artan demet kalitesiyle daha yüksek doz bölgesinde yerini yapısal gürültüye bırakmıştır. Bu demet kalitelerinde üstel katsayıların sıralaması 0.34, 0.45, 0.55 ve 0.5 şeklindedir.

RQA-7 demet kalitesinde 60lp/cm frekansa sahip grid ile alınmış ölçümlerde gridsiz ölçüme göre, yapısal gürültünün katsayısı(s) Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi 1.40E-04'den 8.47E-04'e yükseldiği görülmüştür. Üstel katsayı değeri gridli ölçümlerde gridsiz ölçüme göre 0.55'den 0.82'ye yükselmiştir.

RQA-7 demet kalitesinde gridsiz ve kazanç-offset kalibrasyonu yapıldıktan sonra alınmış gürültü ölçümlerinin, bu kalibrasyonların yapılmadığı gridsiz ölçümlere göre yapısal gürültü katsayısının 1.40E-04'den 9.06E-06'e, elektronik gürültüye ait katsayısının(e) 7.40E-05'den 3.36E-05'e düştüğü görülmektedir. Yapılan kazanç ve offset kalibrasyonlarının yapısal ve elektronik gürültü kaynaklarını iyileştirdiği görülmektedir. DRX-1C sistemine ait gürültü kaynakları ayrıştırılmış STD-DAK eğrileri incelendiğinde;

Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'teki veriler doğrultusunda, DRX-1C sisteminde, RQA-3, RQA-5 ve RQA-7 demet kalitesinde alınmış ölçümlerden elde edilmiş gürültü kaynakları ayrıştırılmış STD-DAK eğrilerinde, ölçümün alındığı en düşük doz değerlerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > e > s$ şeklinde iken ölçümün alındığı en yüksek doz değerlerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $s > q > e$ şeklindedir.

Şekil 4.16 incelendiğinde, RQA-7 demet kalitesinde alınmış 60 lp/cm frekansa sahip grid ile alınan ölçümde, en düşük doz değeri olan 0.60µGy değerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > e > s$ şeklinde iken ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 42.6µGy değerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $s > q > e$ şeklindedir. Kuantum gürültüsü 3µGy'e kadar baskın iken, 3-42.6µGy doz aralığında yapısal gürültü baskın hale gelmiştir. 1 µGy'den sonraki artan doz değerlerinde yapısal gürültünün elektronik gürültüden daha baskın hale geldiği görülmektedir.

Grid kullanımı ile yapısal gürültünün baskın olma durumu gridsiz ölçümlere göre daha düşük dozlarda meydana gelmiştir. Grid ile yapılan ölçümler sonucunda gridli ölçümün geniş doz aralığında dedektörün kuantum sınırlı davranışı bozduğu görülmektedir.

Şekil 4.17 incelendiğinde, kazanç ve offset kalibrasyonu ile tüm doz değerlerinde kuantum gürültü baskın hale gelmiştir. En düşük doz değeri olan $0.92\mu\text{Gy}$ değerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > e > s$ şeklinde iken, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $42\mu\text{Gy}$ 'de gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > s > e$ şeklindedir. $3.5\mu\text{Gy}$ 'den sonraki artan doz değerlerinde yapısal gürültünün elektronik gürültüden daha baskın hale geldiği görülmektedir.

Şekil 4.18 incelendiğinde, RQA-9 demet kalitesinde alınmış ölçümde en düşük doz değeri olan $1.64\mu\text{Gy}$ değerinde gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > s > e$ şeklinde iken ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $47\mu\text{Gy}$ 'de gürültü kaynaklarının büyüklük sıralaması $q > s > e$ şeklindedir. Bu demet kalitesinde kuantum gürültüsü tüm doz değerlerinde baskın, yapısal gürültü ise tüm doz değerlerinde elektronik gürültüden daha baskın olduğu görülmektedir. Elektronik gürültünün hiç bir doz değerinde baskın olmamasının nedeni diğer demet kalitelerinde çalışılan düşük doz bölgesinde çalışılmamasından kaynaklanmaktadır.

5.2 Kesirsel Varyans-DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde farklı demet kalitelerindeki ölçümlerden elde edilmiş her bir gürültü kaynağının katsayısı ile orantılı olarak toplam gürültü içerisindeki kesrini veren Kesirsel varyans-DAK grafikleri değerlendirilecektir. Bu bölümde her bir demet kalitesinde elde edilen kuantum sınırlı çalışma doz aralığı Çizelge 4.1'de verilmiştir.

A) DRX-1C

Şekil 4.19'deki RQA-3 demet kalitesinde kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $0.51\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültünün %51'sini oluşturduğu, $4.3\mu\text{Gy}$ 'e kadar kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranının %80'lere kadar arttığı, bu dozdan sonra $54\mu\text{Gy}$ 'e kadar azalan bir davranış sergilediği ve bu doz değerinde, toplam gürültüdeki kesrinin %37'lere indiği görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.51\mu\text{Gy}$ 'de %48 bulunmuştur. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri dozun artmasıyla birlikte azalmaktadır. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmakta, $33\mu\text{Gy}$ 'den sonra yapısal gürültü diğer gürültü kaynaklarına göre baskın hale gelmiştir. Yapısal

gürültü 54 μ Gy'de %63'lük kesire ulaşmıştır. Dedektör RQA-3 demet kalitesinde 0.51-33 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.20'deki RQA-5 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde 0.62 μ Gy'de kuantum gürültüsünün toplam gürültünün %79'unu oluşturduğu, 2 μ Gy'e kadar kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranının %87'lere kadar arttığı, bu dozdan sonra 43 μ Gy'e kadar azalan bir davranış sergilediği ve toplam gürültüdeki kesrinin %42'lere indiği görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 0.62 μ Gy'de %20 bulunmuştur. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri artan dozun artmasıyla birlikte azalmaktadır. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmakta, 33 μ Gy'den sonra yapısal gürültü diğer gürültü kaynaklarına göre baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültü 43 μ Gy'de %58'lik kesire ulaşmıştır. Dedektör RQA-5 demet kalitesinde 0.62-33 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.19'da, RQA-3 demet kalitesinde 0.51 μ Gy'de elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri %48 iken, Şekil 4.20'deki, RQA-5 demet kalitesinde 0.62 μ Gy'de %20'lik kesire düşmesinin nedeni düşük dozlarda baskın olan elektronik gürültünü varlığıdır.

Şekil 4.21'deki RQA-7 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta 0.92 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %77 iken 41.2 μ Gy doz değerinde bu değer %54'e düşmüştür. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, 41.2 μ Gy doz değerinde bu değer %50 olarak hesaplanmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 0.92 μ Gy'de %21.7 olarak en yüksek değerini almıştır. Dedektör RQA-7 demet kalitesinde 0.92-41.2 μ Gy doz değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.22'deki RQA-7 demet kalitesinde 60lp/cm grid frekansına sahip grid ile alınmış kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, 0.60 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %81 iken 42.6 μ Gy doz değerinde bu değer %10'a düşmüştür. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesiri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, 42.6 μ Gy doz değerinde bu değer %89 bulunmuştur. Dedektör 5.1 μ Gy'e kadar kuantum sınırlı çalışmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 0.62 μ Gy'de %9 olarak en yüksek değerde hesaplanmıştır.

Şekil 4.23'deki RQA-7 demet kalitesinde kazanç ve offset kalibrasyonların yapıldığı kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta 0.92 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %83 iken 41.2 μ Gy doz değerinde bu değer %58'e düşmüştür. Aynı dozlarda kalibrasyonların yapılmadığı Şekil 4.21'deki verilere göre kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri artmıştır. Şekil 4.23'deki kuantum gürültü kesir değeri 33.5 μ Gy'de %72'ye düşmüştür. Bu doz değerinden sonra kuantum gürültü kesri hızla düşüşe geçmiştir. Tam tersine yapısal gürültü 0.92 μ Gy'de %0.9'luk kesire sahip iken, 33.5 μ Gy'e doz değerine kadar %27 değerlere kadar artmış bu doz değerinden sonra hızla artışa geçmiştir. Şekil 4.21'deki verilere göre 0.92 μ Gy'de elektronik gürültünün kesir değeri %21.7 iken kalibrasyonların yapıldığı durumda %17'ye düşmüştür. Yapılan kalibrasyonlar ile kuantum gürültünün geniş doz aralığındaki kesirsel değeri artmış, yapısal ve elektronik gürültünü kesirsel değeri kalibrasyonun yapılmadığı duruma göre düşmüştür.

Şekil 4.24'deki RQA-9 demet kalitesinde kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta 1.64 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %98 iken 47.1 μ Gy doz değerinde bu değer %63'e düşmüştür. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, 47.1 μ Gy doz değerinde bu değer %36 bulunmuştur. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı RQA-9 demet kalitesinde en düşük doz olan 1.64 μ Gy'de en yüksek değerini %0.34 olarak almıştır. Dedektör bu demet kalitesinde 1.64-47.1 μ Gy doz değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

B) Toshiba FDX4343R

Şekil 4.25'deki RQA-3 demet kalitesinde kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde; 0.37 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranı %17, 48 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranı %79 olarak hesaplanmıştır. 3 μ Gy doz değerinden sonraki doz değerlerinde kuantum gürültü baskın hale gelmiştir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 0.37 μ Gy'de %83 bulunmuştur. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri 19 μ Gy doz değerinde elektronik gürültüyü geçmiştir. Dedektör RQA-3 demet kalitesinde 3-48 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.26'deki RQA-5 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $0.46\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültüsü toplam gürültünün %74'ünü oluşturduğu, $5.5\mu\text{Gy}$ 'de %96 değerlerine ulaştığı, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $48\mu\text{Gy}$ 'de toplam gürültüdeki kesrinin %87'sini oluşturduğu görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.46\mu\text{Gy}$ 'de %26 bulunmuştur. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmakta, $7\mu\text{Gy}$ 'den sonra yapısal gürültü elektronik gürültüye göre baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültü $48\mu\text{Gy}$ 'de %13'lük kesire ulaşmıştır. Dedektör RQA-5 demet kalitesinde $0.46-48\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.27'deki RQA-7 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $0.70\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %74 iken, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $46\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %97'ye çıkmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.70\mu\text{Gy}$ 'de %26 olarak en yüksek değerini almıştır. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, $46\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %2.3 olarak hesaplanmıştır. $18\mu\text{Gy}$ 'den sonra yapısal gürültü elektronik gürültüye göre baskın hale gelmiştir. Dedektör bu demet kalitesinde $0.70-46\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.28'deki RQA-7 demet kalitesinde 40lp/cm grid frekansına sahip grid ile alınmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, $0.87\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %26 iken $43\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %0.9'a düşmüştür. Yapısal gürültüye ait kesir değeri, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $43\mu\text{Gy}$ doz değerinde %99 bulunmuştur. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri hiç bir doz değerinde yapısal gürültü kesrini geçmemiştir.

Şekil 4.29'deki RQA-9 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde $1\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %62 iken, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $51\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %98.6'ya çıkmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $1\mu\text{Gy}$ 'de %38 olarak en yüksek değerinde hesaplanmıştır ve artan doz değerlerinde toplam gürültüdeki kesri azalmaktadır. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri ölçümün alındığı en yüksek doz değerinde %0.24 olarak hesaplanmıştır. Dedektör RQA-9 demet kalitesinde $1-51\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

C) Trixell Pixium 4600

Şekil 4.30'daki RQA-3 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, başlangıçta $0.75\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültü toplam gürültünün %36'sını oluşturmuş, $11.2\mu\text{Gy}$ 'de %74'lük kesir değerine ulaşmıştır. Ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $51.5\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültüsünün toplam gürültüdeki kesri %47 olarak hesaplanmıştır. Kuantum gürültü $1.5\mu\text{Gy}$ doz değerinden sonraki doz değerinde elektronik gürültüye göre baskın hale gelmiştir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.75\mu\text{Gy}$ 'de %64 bulunmuştur. Yapısal gürültü $8.5\mu\text{Gy}$ doz değerinden sonraki doz değerlerinde elektronik gürültüye göre baskın, $47\mu\text{Gy}$ doz değerinden sonra tüm gürültü kaynaklarına göre baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki yüzde kesirsel değeri $51.5\mu\text{Gy}$ doz değerinde %51.6 olarak hesaplanmıştır. Dedektör RQA-3 demet kalitesinde $1.5-47\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.31'deki RQA-5 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $0.82\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültüsü toplam gürültünün %70'ini oluşturduğu, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $51\mu\text{Gy}$ 'de toplam gürültüdeki kesrin %64'ünü oluşturduğu görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.82\mu\text{Gy}$ 'de %30 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmaktadır ve yapısal gürültü $51\mu\text{Gy}$ 'de %36'lık kesire ulaşmıştır. Dedektör RQA-5 demet kalitesinde $0.82-51\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.32'deki RQA-7 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $0.78\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %90 iken, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $47\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %51'e düşmüştür. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $0.78\mu\text{Gy}$ 'de %8.2 olarak en yüksek değerini almıştır. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, $47\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %49 olarak hesaplanmıştır. Dedektör bu demet kalitesinde $0.78-47\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.33'deki RQA-7 demet kalitesinde 36lp/cm grid frekansına sahip grid ile alınmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, $0.76\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %55 iken, $3.9\mu\text{Gy}$ doz değerinde %82.2 değerle en yüksek değerine

çıkıştır. Ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $48\mu\text{Gy}$ 'de bu değer %59 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültü ait kesir değeri, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $48\mu\text{Gy}$ doz değerinde %40 hesaplanmıştır. Dedektör $0.76-48\mu\text{Gy}$ doz aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri $0.76\mu\text{Gy}$ doz değerinde %45 bulunmuştur. Grid kullanımı ile yapısal gürültü bileşeninde hızla artışın olmamasının nedeni Trixell Pixium 4600 sisteminde hareketli grid kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca böyle bir grid tasarımı geniş doz aralığında kuantum gürültü bileşeninde bozmamıştır.

Şekil 4.34'deki RQA-9 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, başlangıçta $1.2\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %88 iken, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $53.4\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu değer %20'ye düşmüştür. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $1.2\mu\text{Gy}$ 'de %4 olarak en yüksek değerinde hesaplanmıştır. Ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $53.4\mu\text{Gy}$ doz değerinde yapısal gürültü kesri %80 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesrinin sayısal değeri $13.5\mu\text{Gy}$ doz değerinden daha yüksek değerlerde kuantum gürültüyü geçmektedir. Dedektör RQA-9 demet kalitesinde $1.2-13.5\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki kesri RQA-3 demet kalitesinde $0.75\mu\text{Gy}$ 'de %64, RQA-5 demet kalitesinde $0.82\mu\text{Gy}$ 'de %30, RQA-7 demet kalitesinde $0.78\mu\text{Gy}$ 'de %8.2, RQA-9 demet kalitesinde $1.2\mu\text{Gy}$ 'de %4 olarak hesaplanması elektronik gürültünün düşük dozlarda daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır.

D) Siemens Mamomat Inspiration

Şekil 4.35'deki RQA-M1 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta $5\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültünün %15'ini oluşturduğu, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $397\mu\text{Gy}$ doz değerinden bu kesrin %91'e çıktığı görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $5\mu\text{Gy}$ 'de %85 bulunmuştur. Kuantum gürültünün kesirsel değeri $30\mu\text{Gy}$ 'de elektronik gürültünün kesirsel değerini geçmiştir ve sonraki doz değerlerinde kuantum gürültü baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri hiç bir doz değerinde elektronik gürültüyü geçmemiştir. Dedektör RQA-M1 demet kalitesinde $30-396\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.36'deki RQA-M2 demet kalitesinde kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, başlangıçta $9\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültünün %28'ini oluşturduğu, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $443\mu\text{Gy}$ doz değerinde bu kesrin %93'e çıktığı görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $9\mu\text{Gy}$ 'de %72 bulunmuştur. Kuantum gürültünün kesirsel değeri $20\mu\text{Gy}$ 'de elektronik gürültünün kesirsel değerini geçmiştir ve sonraki doz değerlerinde kuantum gürültü baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri hiç bir doz değerinde elektronik gürültüyü geçmemiştir. Yapısal gürültüye ait kesir değeri ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $443\mu\text{Gy}$ doz değerinde %2.7 olarak hesaplanmıştır. Dedektör RQA-M2 demet kalitesinde $20-443\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.37'deki RQA-M3 demet kalitesinde Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, $12\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %38, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $382\mu\text{Gy}$ 'de %92 olarak hesaplanmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $12\mu\text{Gy}$ 'de %62 bulunmuştur. Kuantum gürültünün kesirsel değeri $20\mu\text{Gy}$ 'de elektronik gürültünün kesirsel değerine göre baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri hiç bir doz değerinde elektronik gürültüyü geçememiştir. Dedektör RQA-M3 demet kalitesinde $20-382\mu\text{Gy}$ DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır. Elektronik gürültüye ait kesrin yüzde değeri diğer sistemlerde olduğu gibi düşük doz değerlerinde daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 4.38'deki RQA-M3 demet kalitesinde 31 lp/cm grid frekansına sahip grid ile alınmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, $11\mu\text{Gy}$ 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %36, $365\mu\text{Gy}$ doz değerinde ise bu değer %87 bulunmuştur. Kuantum gürültünün kesirsel değeri $21\mu\text{Gy}$ 'de elektronik gürültünün kesirsel değerine göre baskın hale gelmiştir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan $11\mu\text{Gy}$ 'de %64 bulunmuştur. Yapısal gürültü ait kesir değeri, ölçümün alındığı en yüksek doz olan $365\mu\text{Gy}$ doz değerinde %8 bulunmuştur. $280\mu\text{Gy}$ doz değerinden daha yüksek doz değerlerinde, yapısal gürültünün kesir değeri elektronik gürültü kesrinden daha büyüktür. Grid kullanımı ile yapısal gürültü bileşeninde hızla artışın olmamasının nedeni Siemens Mamomat Inspiration sisteminde hareketli grid kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca böyle bir grid tasarımı geniş doz

aralığında kuantum gürültü bileşeninde bozmamıştır. Böylelikle mamografi dedektörü grid kullanımına rağmen 21-365 μ Gy doz aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

E) PaxScan

Şekil 4.39'daki RQA-3 demet kalitesinde gridsiz hesaplanmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, 47.8nGy'de kuantum gürültüsünün toplam gürültünün %8.2'ini oluşturduğu, 1.83 μ Gy'e kadar kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranının %57'lere kadar arttığı, bu dozdan sonra 5.7 μ Gy'e kadar azalan bir davranış sergilediği ve bu doz değerinde toplam gürültüdeki kesrinin %39'a indiği görülmektedir. 0.45 μ Gy doz değerinden sonraki doz değerlerinde kuantum gürültü, elektronik gürültüden daha baskındır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı ölçümün alındığı en düşük doz olan 47.8nGy'de %92 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmakta, yapısal gürültü 1.5 μ Gy'den sonra elektronik gürültüden, 4 μ Gy'den sonrada kuantum gürültüden daha baskındır. 4.0-5.7 μ Gy aralığında dedektörde bütün gürültülerden baskın olan gürültü yapısal gürültüdür. Dedektör RQA-3 demet kalitesinde 0.45-4 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.40'deki RQA-5 demet kalitesinde gridsiz hesaplanmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde başlangıçta 56nGy'de kuantum gürültünün toplam gürültünün %20'sini oluşturduğu, 0.9 μ Gy'e kadar kuantum gürültünün toplam gürültüdeki oranının %67'lere kadar arttığı, bu dozdan sonra 7.4 μ Gy'e kadar azalan bir davranış sergilediği ve toplam gürültüdeki kesrinin bu dozda %33'lere kadar indiği görülmektedir. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 56nGy'de %80 bulunmuştur. Yapısal gürültünün toplam gürültü içerisindeki kesri doz arttıkça artmakta, 3.9 μ Gy'den sonra yapısal gürültü diğer gürültü kaynaklarına göre baskın hale gelmiştir. Yapısal gürültü 7.4 μ Gy'de %65'lik kesire ulaşmıştır. Dedektör RQA-5 demet kalitesinde 0.2-3.9 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Şekil 4.41'deki RQA-7 demet kalitesinde gridsiz hesaplanmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, başlangıçta 0.12 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %73 iken 0.69 μ Gy doz değerinde %83'lük değer ile en yüksek kesir değerine ulaşmıştır. Değer ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 8.4 μ Gy'de %36'ya düşmüştür. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla

artmakta, 8.4 μ Gy doz değerinde kesirsel değer %64 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültü 0.4 μ Gy'den sonra elektronik gürültüden, 4.85 μ Gy'den sonrada kuantum gürültüden daha baskındır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı en düşük doz olan 0.12 μ Gy'de %25 olarak en yüksek değerde hesaplanmıştır. Dedektör bu demet kalitesinde 0.12-4.85 μ Gy DAK değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

Literatürde bulunan Yadava vd. (2008)'nin yapmış olduğu çalışmanın aynısı RQA-7 demet kalitesinde bu sistem içinde uygulandı ve sistemde enstrümantasyon gürültü eşdeğer dozu(INEE), yani elektronik gürültünün baskın olduğu ve sistemin kuantum sınırından ayrıldığı minumum doz değerinin ölçümü yapıldı ve bu değer 0.21 μ Gy olarak hesaplandı. Bu değer Kesirsel varyans-DAK eğrilerinde elde edilen 0.12 μ Gy doz değeri ile karşılaştırıldığında değerler birbirine yakın hesaplanmıştır. Burada INEE değerinin yüksek çıkmasının nedeni INEE değerinin sistemin elektronik gürültüsünün değilde sistem enstrümantasyon gürültüsünü tamamıyla ihtiva etmesinden kaynaklanmaktadır. Bunlar termal noise vs. gibi ek gürültü kaynaklarıdır.

şekil 4.42'daki RQA-7 demet kalitesinde 60lp/cm grid frekansına sahip grid ile hesaplanmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, ölçümün alındığı en düşük doz olan 90nGy'de yapısal gürültünün kesirsel değeri %1.8, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 5.1 μ Gy doz değerinde bu değer %88 olarak hesaplanmıştır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı 90nGy'de %86 olarak hesaplanmıştır. 90nGy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %13 iken 5.1 μ Gy doz değerinde bu değer %11'e düşmüştür. Sabit gridin kullanıldığı bu gürültü ölçümünde dedektör hiçbir doz aralığında kuantum sınırlı çalışmamıştır. Grid kullanımı kuantum sınırlı davranışı bozmuştur.

şekil 4.43'daki RQA-7 demet kalitesinde alınmış kazanç ve offset kalibrasyonlu Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, 0.12 μ Gy'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesiri %82 iken kesir değer 0.85 μ Gy doz değerinde %95'lik değer ile en yüksek kesir değerine ulaşmıştır. Değer ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 8.3 μ Gy'de %83'ye düşmüştür. Aynı dozlarda kalibrasyonların yapılmadığı şekil 4.41'deki verilere göre kalibrasyonlu ölçümlerde kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri en düşük doz olan 12nGy'de %73'den %82'ye çıkmıştır ve en büyük doz değerleri olan 8.4 μ Gy'de %36'dan %83'e çıkmıştır. Yapısal gürültü kesirsel değeri

kalibrasyonun yapılmadığı ölçümlere göre 0.12 μGy 'de %1.9'dan %0.2'ye, 8.4 μGy 'de %64'den %16'ya düşmüştür. Elektronik gürültü için ise kesirsel değer kalibrasyonun yapılmadığı ölçümlere göre 0.12 μGy 'de %25'den %19'a inmiştir. Bu ölçümlerde dedektör 0.12 μGy -8.4 μGy doz aralığında kuantum sınırlı çalışmış ve Şekil 4.41'deki verilere göre yapılan kalibrasyonlar ile dedektörün kuantum sınırlı davranış sergilediği doz aralığı genişlemiştir. Yapılan kazanç ve offset kalibrasyonu yapısal gürültü ve elektronik gürültü bileşenini daha düşük kesir değerlerine düşürmüştür.

Şekil 4.44'deki RQA-9 demet kalitesinde gridsiz hesaplanmış Kesirsel varyans-DAK eğrisi incelendiğinde, 0.2 μGy 'de kuantum gürültünün toplam gürültüdeki kesri %44 iken 0.82 μGy doz değerinde %65'lik değer ile en yüksek kesir değerine ulaşmıştır. Değer ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 3.9 μGy 'de %45'e düşmüştür. Kuantum gürültü 0.25 μGy ve sonraki doz değerlerinde elektronik gürültüden daha baskındır. Yapısal gürültünün toplam gürültüdeki kesri dedektör dozunun artmasıyla artmakta, 3.9 μGy doz değerinde bu değer %52 olarak hesaplanmıştır. Yapısal gürültü 0.95 μGy 'den sonra elektronik gürültüden, 3.5 μGy 'den sonra da kuantum gürültüden daha baskındır. Elektronik gürültünün toplam gürültüdeki oranı 0.2 μGy 'de %53 olarak en yüksek değerinde hesaplanmıştır. Dedektör RQA-9 demet kalitesinde 0.25-3.5 μGy doz değeri aralığında kuantum sınırlı çalışmıştır.

RQA-9 demet kalitesi hariç tüm demet kalitelerinde, demet kalitesine göre düşük doz değerlerine inildikçe elektronik gürültünün yüzde kesirsel değeri artmış ve elektronik gürültü baskın hale gelmiştir.

5.3 Bağlı Gürültü(RSD)–DAK Grafiklerinin Değerlendirilmesi

Bağlı gürültünün değerlendirilmesinde RSD-DAK eğrilerine Borasi vd (2003)'ün kullandığı denklem çakıştırılmış elde edilen katsayılar ile baskın gürültü kaynağı belirlenmiştir. Denklemdaki kuantum sınırlı davranışına ait kısım ayrıca çakıştırılmış böylelikle dedektörün kuantum sınırından ayrıldığı doz seviyesi belirlenmiştir. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı da sistemin kuantum sınırından ayrılışı hakkında bilgi vermektedir. Bu kısımda 5 sisteme ait farklı demet kalitelerinde alınmış ölçümlere ait RSD-DAK verileri değerlendirecektir.

A) DRX-1C

RQA-3, RQA-5, RQA-7 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrisi incelendiğinde, gürültü katsayılarının büyükten küçüğe göre sıralaması $q > e > s$ şeklinde, RQA-9 demet kalitesinde ise $q > s > e$ şeklindedir. Denklemin karşılaştırılması sonucu elde edilen elektronik gürültüye ait katsayılar(e) RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde Çizelge 4.2'deki gibidir. Bu katsayılar demet kalitesine göre ne kadar düşük dozlara inilebilirse elektronik gürültünün yüksek olacağını göstermektedir. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin deneysel verilere karşılaştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı sırasıyla 0.99, 0.99, 0.87, 0.99 şeklinde hesaplanmıştır. Deneysel veri ve karşılaştırılan kuantum sınırlı davranışa ait denklem ile RQA-3 demet kalitesinde en fazla sapma $54\mu\text{Gy}$ 'de %22 şeklinde, RQA-5 demet kalitesinde $34\mu\text{Gy}$ 'de %23 şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde $42\mu\text{Gy}$ 'de %24 şeklinde, RQA-9 demet kalitesinde $47\mu\text{Gy}$ 'de %17 şeklinde hesaplanmıştır. En yüksek doz değerlerindeki kuantum sınırından sapmalar %50 değerinden düşük olduğundan, bu demet kalitelerinde ölçümün alındığı tüm doz değerlerinde dedektör kuantum sınırlı çalışmıştır.

60lp/cm grid frekansına sahip grid ile RQA-7 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yapısal gürültü katsayısı(s) gridin kullanılmadığı duruma göre artmıştır. Aynı şartlar altında kuantum gürültüde gridin kullanılmadığı duruma göre azalmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem arasındaki kuantum sınırından sapma değeri RQA-7 demet kalitesinde, 60lp/cm grid kullanımında $23\mu\text{Gy}$ 'de %50 olarak hesaplanmıştır ve bu doz değerinden daha büyük doz değerlerinde dedektör kuantum sınırlı davranışdan sapmıştır. En büyük sapma ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $42\mu\text{Gy}$ 'de %63 şeklinde gerçekleşmiştir.

Kazanç ve offset kalibrasyonlarının yapıldığı durum göz önüne alındığında Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi RQA-7 demet kalitesindeki gridsiz ölçüme göre yapısal gürültü ve elektronik gürültü katsayısı azalmaktadır. Kuantum gürültüye ait katsayı kalibrasyonlar ile azalmıştır. RQA-7 demet kalitesinde kalibrasyonların yapıldığı deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklemdeki en büyük sapma $33\mu\text{Gy}$ 'de %11 şeklinde hesaplanmıştır. Kalibrasyonun yapılmadığı durumda kuantum sınırlı davranışa ait denklemin karşılaştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı 0.87 iken, Kalibrasyonun yapıldığı durumda 0.99 bulunmuştur. Bu bilgiler

doğrultusunda elde edilen veriler, kalibrasyonların kuantum sınırlı davranış üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

B) Toshiba FDX4343R

RQA-3, RQA-5, RQA-9 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrilerine ait katsayılar incelendiğinde; gürültü katsayılarının büyükten küçüğe göre sıralaması $q > e > s$ şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde ise $e > q > s$ şeklindedir. Denklemin çakıştırılması sonucu elde edilen elektronik gürültüye ait katsayı(e) RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde sırasıyla Çizelge 4.2'deki gibidir. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin deneysel verilere çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı demet kalitesine göre sırasıyla 0.97, 0.94, 0.98, 0.99 şeklinde hesaplanmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem ile RQA-3 demet kalitesinde en fazla sapma $48\mu\text{Gy}$ 'de %25 şeklinde, RQA-5 demet kalitesinde $0.45\mu\text{Gy}$ 'de %37 şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde $36\mu\text{Gy}$ 'de %20 şeklinde, RQA-9 demet kalitesinde $51\mu\text{Gy}$ 'de %25 şeklinde hesaplanmıştır. Ölçümün alındığı en yüksek doz değerlerindeki kuantum sınırından sapmalar %50 değerinden düşük olduğundan, bu demet kalitelerinde ölçümün alındığın tüm doz değerlerinde dedektör kuantum sınırlı çalışmıştır.

40lp/cm grid frekansına sahip grid ile RQA-7 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde, Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yapısal gürültü katsayısı(s) gridin kullanılmadığı duruma göre artmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem arasındaki kuantum sınırından sapma değeri gridli ölçümde, tüm doz değerlerinde %50'den daha büyük olarak hesaplanmıştır. Elde edilen korelasyon katsayısıda 0.14 olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle grid kullanımında dedektör herhangi bir doz aralığında kuantum sınırlı çalışmamıştır.

C) Trixell Pixium 4600

Trixell Pixium 4600 sisteminde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde; RQA-3 demet kalitesinde gürültü katsayılarının büyükten küçüğe göre sıralaması $q > e > s$ şeklinde, RQA-5 ve RQA-9 demet kalitesinde $q > s > e$ şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde $e > s > g$ şeklindedir. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin deneysel verilere çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı demet kalitesine göre

sırasıyla 0.95, 0.67, 0.95, 0.56 şeklinde hesaplanmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem ile RQA-3 demet kalitesinde en fazla sapma 51.5 μ Gy'de %36 şeklinde, RQA-5 demet kalitesinde 51 μ Gy'de %54 şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde 47 μ Gy'de %40 şeklinde, RQA-9 demet kalitesinde 53 μ Gy'de %54 şeklinde hesaplanmıştır. RQA-3, RQA-7 demet kalitesinde ölçümün alındığı en yüksek doz değerlerindeki kuantum sınırından sapmalar %50 değerinden düşük olduğundan, bu demet kalitelerinde ölçümün alındığı tüm doz değerlerinde dedektör kuantum sınırlı çalışmıştır. Fakat RQA-5 ve RQA-9 demet kalitelerinde ölçümün alındığı en yüksek doz değerinde sapmalar %50'den yüksektir, bu nedenle yüksek doz değerlerinde bu demet kalitelerinde kuantum sınırlı davranıştan sapmalar meydana gelmiştir.

Literatürde Borasi vd.(2003)'nin Trixell Pixium 4660 sisteminde yapmış olduğu RSD analizinde, 70 kVp'de 0.5 mmCu filtrasyon kullanımında gürültü katsayılarının büyüklük sıralaması $q > s > e$ şeklindedir. Katsayılar RQA-5 demet kalitesinde alınan ölçümlerdeki sıralamayla örtüşmektedir.

36lp/cm grid frekansına sahip grid ile RQA-7 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde, Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yapısal gürültü katsayısı(s) gridin kullanılmadığı duruma göre artmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem arasındaki kuantum sınırından sapma dozu gridli ölçümde, 29 μ Gy'de %50 olarak hesaplanmıştır ve bu doz değerinden daha yüksek doz değerlerinde kuantum sınırından sapma artmış, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan 48 μ Gy'de sapma %62 şeklinde hesaplanmıştır. Geçirilen filtre ait korelasyon katsayısı da 0.48 olarak hesaplanmıştır. Bu sistemde kullanılan gridin hareketli grid olması sebebiyle sabit grid kullanımına nazaran bu gridlerde dedektörün belirli doz değerine kadar kuantum sınırlı çalışabildiği görülmektedir.

D) Siemens Mamomat Inspiration

RQA-M1, RQA-M2, RQA-M3 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde gürültü katsayılarının büyükten küçüğe göre sıralaması $e > q > s$ şeklindedir. Denklem çakıştırılması sonucu elde edilen elektronik gürültüye ait katsayı(e), RQA-M1, RQA-M2, RQA-M3 demet kalitesinde Çizelge 4.2'deki gibidir. Bu katsayılar demet kalitesine göre düşük dozlarda elektronik gürültünün yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sistemde, yapısal gürültü katsayısı(s) demet kalitesinin

artmasıyla azalmakta, kuantum gürültü katsayısı(q) demet kalitesinin artmasıyla artmaktadır. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin deneysel verilere çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı demet kalitesine göre sırasıyla 0.89, 0.94, 0.96 şeklinde hesaplanmıştır. Artan demet kalitesi ile korelasyon katsayısıda artmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem ile RQA-M1 demet kalitesinde en fazla sapma 396 μGy 'de %114 şeklinde, RQA-M2 demet kalitesinde 443 μGy 'de %68 şeklinde, RQA-M3 demet kalitesinde 382 μGy 'de %47 şeklinde hesaplanmıştır. RQA-M1 ve RQA-M2 demet kalitesinde ölçümün alındığı en yüksek doz değerlerindeki kuantum sınırından sapmalar %50 değerinden büyük olduğundan, dedektör bu demet kalitelerinde tüm doz değerlerinde kuantum sınırlı çalışmamıştır. Fakat RQA-M3 demet kalitesinde ölçümün alındığı en yüksek doz değerinde sapma %50'den düşük olması sebebiyle bu demet kalitesinde tüm doz değerlerinde kuantum sınırlı çalışmıştır.

31 lp/cm grid frekansına sahip grid ile RQA-M3 demet kalitesinde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi yapısal gürültü katsayısı(s) gridin kullanılmadığı duruma göre artmıştır. Aynı şartlar altında kuantum gürültüde gridin kullanılmadığı duruma göre azalmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem arasındaki kuantum sınırından sapma dozu RQA-M demet kalitesinde 31 lp/cm grid kullanımında 96 μGy 'de %50 olarak hesaplanmıştır. Bu sistemdede kullanılan gridin hareketli grid olması, sabit gridlere göre kuantum sınırlı davranışı çok etkilememiştir.

E) PaxScan

PaxScan sisteminde alınmış RSD-DAK eğrileri incelendiğinde RQA-3 demet kalitesinde gürültü katsayılarının büyükten küçüğe göre sıralaması $q > e > s$ şeklinde, RQA-5 ve RQA-9 demet kalitesinde $q > s > e$ şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde $s > q > e$ şeklindedir. Denklemin çakıştırılması sonucu elde edilen elektronik gürültüye ait katsayı(e) RQA-3, RQA-5, RQA-7 ve RQA-9 demet kalitesinde ölçümün alındığı en düşük doz değerlerinde, elektronik gürültünün düşük dozlardaki baskınlığı hakkında bilgi vermemektedir. Kuantum sınırlı davranışa ait denklemin deneysel verilere çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı demet kalitesine göre sırasıyla 0.97, 0.95, 0.96, 0.97 şeklinde hesaplanmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum

sınırlı davranışa ait denklem ile RQA-3 demet kalitesinde en fazla sapma $0.82\mu\text{Gy}$ 'de %13 şeklinde, RQA-5 demet kalitesinde $0.9\mu\text{Gy}$ 'de %42 şeklinde, RQA-7 demet kalitesinde $4.93\mu\text{Gy}$ 'de %14 şeklinde, RQA-9 demet kalitesinde $0.8\mu\text{Gy}$ 'de %13 şeklinde hesaplanmıştır. Ölçümün alındığı doz değerlerindeki kuantum sınırından sapmalar %50 değerinden düşük olduğundan, bu demet kalitelerinde ölçümün alındığı tüm doz değerlerinde dedektör kuantum sınırlı çalışmıştır.

60lp/cm grid frekansına sahip grid ile RQA-7 demet kalitesinde alınmış gürültü ölçümüne ait yapısal gürültü katsayısı(s) Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi gridin kullanılmadığı duruma göre artmıştır. Deneysel veri ve geçirilen kuantum sınırlı davranışa ait denklem arasındaki kuantum sınırından sapma gridli ölçümde, ölçümün alındığı en yüksek doz değeri olan $5.1\mu\text{Gy}$ 'de %49 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla Paxscan sistemi grid kullanımında ölçümün alındığı tüm doz değerlerinde kuantum sınırlı çalışmıştır. Bu sistemde kullanılan sabit grid olmasına rağmen kuantum sınırlı davranışta bozulma meydana gelmemiştir.

Kazanç ve offset kalibrasyonlarının yapıldığı durum incelendiğinde ve Çizelge 4.2'den de görülebileceği gibi RQA-7 demet kalitesindeki gridsiz ölçüme göre yapısal gürültü(s) ve elektronik gürültü(e) katsayısı azalmakta, kuantum gürültüye(q) ait katsayı kalibrasyonlar ile artmıştır. Kalibrasyonun yapıldığı durumda kuantum sınırlı davranışa ait denklemin çakıştırılması sonucu elde edilen korelasyon katsayısı, kalibrasyonun yapılmadığı duruma göre 0.96'dan, 0.97'ye yükselmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda elde edilen veriler kalibrasyonların kuantum sınırlı davranış üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir. Kuantum sınırından sapma ölçümün alındığı doz değerlerinde %50 değeri geçmemiştir. Dolayısıyla dedektör kalibrasyonların yapıldığı durumda da kuantum sınırlı davranmıştır.

5.4 Normalize Gürültü Güç Dağılımlarının(NNPS) Değerlendirilmesi.

Bu bölümde sırasıyla 5 farklı sistemde RQA-7 demet kalitesinde gürültü ölçümü için alınmış homojen görüntülerden elde edilen NNPS ve NNPSxDoz grafikleri değerlendirilecektir.

A) DRX-1C

Şekil 4.57'deki RQA-7 demet kalitesinde farklı dozlarda alınmış NNPS eğrileri incelendiğinde, 42.196 μ Gy'de alınmış NNPS eğrisinde düşük frekanslardan gürültüde meydana gelen hızla düşüşün nedeni yüksek dozlarda açığa çıkan yapısal gürültüden kaynaklanmaktadır. Bu düşüş ölçümün alındığı dozun azalmasıyla kaybolmuştur. Eğrinin düşük frekanslardaki bu düşüşü yapısal gürültünün düşük frekanslarda temsil edildiğini göstermektedir. Belirli doz aralıklarında alınmış NNPS eğrilerinde dozun artmasıyla eğrilerin arası mesafenin azaldığı görülmektedir. Frekansa bağlı olarak NNPS eğrisinin azalıyor olması ilintili (correlated) gürültünün varlığını göstermektedir. Şekil 4.58'deki gürültünün dozdan bağımsız hale getirildiği NNPSxDoz eğrisi incelendiğinde, 42 μ Gy'de hesaplanmış NNPSxDoz eğrisi diğer dozdaki eğrilere göre daha yüksek değere sahip olması, bu dozda artan yapısal gürültüyü göstermektedir. NNPSxDoz eğrisinde 0.925 μ Gy'de ait eğrinin düşük frekanslarda bütün eğrilerin en altında kalırken yüksek frekanslarda bu eğri bazı eğrilerin üstünde yer almaktadır. Bu durum, bu dozda baskın olan elektronik gürültünün NNPS grafiğinde yüksek frekanslarda temsil edildiğini göstermektedir. NNPSxDoz eğrilerinin incelenmesinin temel amacı sistemin kuantum sınırlı olup olmadığıdır. Kuantum sınırlı sistemde bu eğrilerin üstüste gelmesi gerekmektedir. Bu demet kalitesinde eğriler üstüste gelmesi nedeniyle bu grafikler üzerinden RQA-7 demet kalitesinde alınmış bu ölçümde dedektörün kuantum sınırlı davranışı sahip olduğu açıkça görülebilir. DRX-1C sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış uzaysal ortamdaki gürültünün incelendiği STD-DAK ve RSD-DAK eğrilerinden elde edilmiş gürültü katsayılarının sıralaması her iki incelemede de $q > e > s$ şeklinde, üstel gürültü katsayı ise 0.58 şeklindedir. Bu bilgiler doğrultusunda hem uzaysal hem frekans ortamındaki gürültü analizinde; sistemin kuantum sınırına yakın davranışta olduğu, fakat yapısal ve elektronik gürültünün sınıra yaklaşımda etkin olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.59’de 60lp/cm gridli frekansına sahip grid ile farklı dozlarda hesaplanmış NNPS eğrilerinde grid frekansından kaynaklı pikler görülmektedir. Bu pikler görüntüde yapısal gürültüye neden olmaktadır. Yapısal gürültü NNPS grafiklerinde düşük frekanslarda temsil edilirken, grid frekansına bağlı olarak açığa çıkan grid artefakt, NNPS eğrilerinde farklı frekanslarda da temsil edilebilir. 60lp/cm grid frekansına sahip grid ile alınan ölçümlerde grid çizgilerin oluşturduğu artefakt bu grafikte 1.29mm^{-1} ’de oluşmuştur. NNPS’de belirli frekansta oluşan bu artefaktın hangi frekansta açığa çıkacağı dedektörün piksel boyutuna(Δx) bağlıdır. DRX-1C sistemin piksel boyutu 0.139mm ’dir. Nyquist frekansı ise $1/2\Delta x$ ’den hesaplandığında 3.59mm^{-1} ’dir. Grid frekansı ise mm cinsinden 6 lp/mm’dir. Nyquist frekansının üzerinde böyle bir frekans görüntüleme sisteminde görüntülenemeyeceğinden katlanma etkisi açığa çıkar. 6lp/mm’lik gibi frekans katlanma etkisi ile teorik olarak 1.19mm^{-1} ’de temsil edilir. Fakat grid artefakt bu grafikte 1.29mm^{-1} ’de açığa çıkmıştır. Bunun nedeni ise görüntü işleme aşamasında kullanılan algoritma ve sayısal örnekleme kaynaklanmaktadır. Açığa çıkan bu artefakt yüksek dozlarda daha belirgenleşmektedir. Bu da yapısal gürültünün genliğinin yüksek dozlarda arttığını göstermektedir. Diğer frekanslarda açığa çıkan artefaktlar ise dedektör kaynaklı ve grid kaynaklı görüntüde oluşan yapısal gürültü kaynaklarıdır.

Şekil 4.60’deki gürültünün dozdan bağımsız incelendiği NNPSxDoz eğrisi incelendiğinde en yüksek dozda hesaplanmış eğrinin artan yapısal gürültüden dolayı diğer gürültü eğrilerine göre daha yüksekte yer almıştır. Şekil 4.61’deki kazanç ve offset kalibrasyonunun etkisi incelendiğinde, kalibrasyonun yapılmadığı Şekil 4.57’deki NNPS eğrisine göre $42\mu\text{Gy}$ ’deki NNPS eğrisinin en düşük frekansdaki genlik değeri 10^{-5} civarındaki iken, kalibrasyonlar ile genliğin 10^{-5} değerinden daha düşük genlik değerlerine düştüğü görülmektedir. Kısaca kalibrasyonlar ile kalibrasyonun yapılmadığı duruma göre gürültü azalmıştır.

Şekil 4.62’deki kalibrasyonların yapıldığı veriler ait NNPSxDoz eğrileri, Şekil 4.58’deki kalibrasyonların yapılmadığı veriler ile kıyaslandığında, yapılan kalibrasyonlar ile eğrilerin daha fazla üstüste geldiği ve böylelikle sistemin kuantum sınırlı davranışa daha çok yaklaştığı söylenebilir.

B) Toshiba FDX4343R

Şekil 4.63'de RQA-7 demet kalitesinde gridsiz alınmış NNPS eğrisi incelendiğinde bazı frekanslarda oluşan birkaç pik dedektör kaynaklı yapısal gürültü kaynaklarının varlığını göstermektedir. Bu artefaktlar artan doz değerlerinde büyümektedir. Frekansa bağlı olarak NNPS eğrisinin azalıyor olması ilintili (correlated) gürültünün varlığını göstermektedir. Yüksek dozlarda düşük frekanslara doğru gürültünün artması veya gürültüde meydana gelen hızlı düşüş, yapısal gürültünün varlığını göstermektedir. Kuantum sınırlı davranışa ait bilgi hakkında durumun incelenmesi için çizdirilen Şekil 4.64'deki NNPSxDoz eğrisine bakılırsa düşük dozlarda alınmış gürültü değerlerinin diğer farklı dozlarda alınmış görüntülere ait gürültü değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum düşük dozlarda baskın olan elektronik gürültüyü göstermektedir. Toshiba FDX4343R sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış STD-DAK ve RSD-DAK eğrilerinden elde edilmiş gürültü katsayılarının sıralaması STD-DAK için $q > e > s$ şeklinde iken RSD-DAK eğrisi için $e > q > s$ şeklindedir. NNPS grafikleri diğer ölçümler ile kıyaslandığında; elektronik gürültünün, katsayı incelemesinde ve NNPS grafiklerinde yüksek olduğu, yapısal gürültünün diğer gürültü kaynaklarına göre düşük olduğu anlaşılmaktadır. Gürültünün üstel bir fonksiyon olarak incelendiğinde ölçümde üstel katsayı bu demet kalitesinde 0.47 bulunmuştur. Bu değer sistemin kuantum sınırına yakın bir davranış sergilediği fakat sistemde ek elektronik gürültü kaynaklarının var olduğunu göstermektedir. Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'de 40 lp/cm frekansa sahip grid ile alınmış NNPS ve NNPSxDoz eğrisi incelendiğinde; Toshiba FDX4343R sistemine ait piksel boyutu 0.143mm'dir. Bu sistemin Nyquist frekansında 3.5mm^{-1} 'e karşılık gelmektedir. 4 lp/mm'e frekanslık grid çizgi frekansı böyle bir sistemde görüntülenemeyeceği için katlanma etkisi sonucu teorik olarak 3.0mm^{-1} 'de oluşması gerekir. Çizdirilen NNPS grafiklerinde grid artefakt 3.0mm^{-1} 'de oluşmuştur. Bu neticede deneysel veri ile teorik hesaplama ile örtüşmektedir. Grid ile alınmış Şekil 4.66'daki NNPSxDoz grafiği incelendiğinde, yüksek dozlara ait gürültü ölçümü grid nedeniyle artan yapısal gürültüden dolayı yüksek çıkmıştır. Gürültü katsayı analizlerinde de grid ile alınan ölçümlerde katsayıların büyükten küçüğe doğru sıralaması STD-DAK ve RSD-DAK eğrisi için $s > q > e$ şeklinde hesaplanmıştır. Toshiba FDX4343R sistemine ait uzaysal ve frekans ortamında gürültü analizi uyumlu çıkmıştır.

C) Trixell Pixium 4600

Trixell Pixium 4600 sistemine ait RQA-7 demet kalitesinde alınmış Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'deki NNPS ve NNPSxDoz verileri incelendiğinde, düşük dozlarda ilintili (correlated) gürültü davranışı mevcut iken, yüksek dozlarda ise ilintisiz(uncorrelated) gürültü davranışı mevcuttur. Bu durum sistemin raw görüntülere uyguladığı 2 farklı filtreden kaynaklanmaktadır. Literatürde Trixell Pixium 4600 sisteminde yapılan önceki çalışmalarda(Samei 2003, Borasi 2003) belirtildiği gibi, bu filtrelerden biri Unsharp-mask filtredir. Bu filtre sistemin 2.4 μ Gy DAK değerine kadar 0-1.5 iyileştirme faktörünü doğrusal olarak uygulamakta, 2.4 μ Gy DAK değerinden daha büyük DAK değerlerinde bu faktör 1.5 olarak uygulanmaktadır. İkinci bir filtre olarak de-striping filtre kullanılmakta ve bu filtre yatay ve dikey yöndeki yapısal gürültüyü azaltmaktadır. 0.78 μ Gy ve 1.52 μ Gy'de alınmış NNPS eğrilerinin diğer eğrilere göre farklı bir davranış sergilemesinin nedeni uygulanan filtrelere ait iyileştirme faktörlerinin oranının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İyileştirme faktörü 0.78 μ Gy ve 1.52 μ Gy'de farklı oranda olduğu, bu iki eğrinin eğimlerinin farklı olmasından anlaşılmaktadır. 7.18 μ Gy ve daha büyük dozlarda alınmış eğrilerdeki davranışın benzer olduğu düşük frekanslar hariç diğer orta ve yüksek frekanslarda eğrilerin doğrusallaşarak ilintisiz gürültü davranışını sergilediği görülmektedir. Bu durumda 2.4 μ Gy'den sonra sabit iyileştirme faktörünün kullanılmasından kaynaklanmaktadır. NNPS grafiklerinde yüksek dozlarda düşük frekanslara gidildikçe yapısal gürültü kaynaklı gürültüdeki hızla artış bu sistemde de mevcuttur. Şekil 4.68'deki NNPSxDoz grafiği incelendiğinde eğrilerin üstüste gelmediği ve sistemin kuantum sınırından ayrıldığı görülmektedir. Trixell Pixium 4600 sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış STD-DAK ve RSD-DAK eğrilerinden elde edilmiş gürültü katsayılarının sıralaması STD-DAK için $q > e > s$ şeklinde iken RSD-DAK eğrisi için $e > s > q$ şeklindedir. Üstel katsayı ise 0.63 bulunmuştur. RSD-DAK eğrilerinde ve üstel fonksiyon değeride aynı şekilde bize sistemin kuantum sınırından ayrıldığını göstermektedir. NNPSxDoz grafiği bize yüksek dozlara ait eğrilerin diğer eğrilere göre üste kalmasından dolayı bu sistemde ve bu demet kalitesinde yapısal gürültünün baskın olan gürültü olduğunu göstermektedir. Yine aynı grafikte 0.78 μ Gy'e ait eğrinin 1.52 μ Gy'e ait eğriye göre üste kalması 0.78 μ Gy'de baskın olan elektronik gürültünün varlığını göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda sistemin yapısal ve elektronik gürültülerden kaynaklı kuantum sınırından ayrıldığı

söylenbilir. Bu durumun oluşmasında bir diğer etken görüntü işlemede kullanılan filtrenin sistemin gürültü davranışını değiştirmesidir. Şekil 4.69 ve Şekil 4.70 incelendiğinde 3.6lp/mm grid frekansı görüntüleme sisteminde katlanma etkisi olmadan NNPS grafiğinde sadece artefakta ait pikin kuyruk kısmının açığa çıkması şeklinde olmuştur.

D) Siemens Mamomat Inspiration

Siemens Mamomat Inspiration sistemine ait Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'deki NNPS ve NNPSxDoz eğrileri incelendiğinde ilintisiz gürültü davranışı tüm dozlarda açığa çıkmıştır. Bu nedeni a-Se tabanlı sistemlerde, CsI tabanlı sistemlere nazaran ışık dağılımının oluşmaması, piksellerdeki bilginin diğer piksellere aksetmemesi sonucu piksellerin birbirinden bağımsız bilgi içermesi, ilintisiz gürültü davranışını sağlamıştır. Diğer sistemlerde yüksek dozlarda ve düşük frekanslarda açığa çıkan yapısal gürültü etkenli gürültü davranışı bu sistemde yüksek dozlarda fazla mevcut değildir. Şekil 4.72'deki NNPSxDoz grafiği incelendiğinde düşük dozlara ait eğrilerin üst kısımda kalması sistemde var olan ek elektronik gürültünün varlığı göstermekte, eğrilerdeki ayrışmalar sistemin düşük dozlarda kuantum sınırından ayrıldığını göstermektedir. Yüksek dozlardaki eğrilerin örtüşmesi, sistemin yüksek dozlarda kuantum sınırlı davranışa yaklaştığını göstermektedir. Bu sisteme ait RQA-M3 demet kalitesinde, RSD-DAK ve STD-DAK gürültü katsayılarının sıralaması $e > q > s$ şeklinde hesaplanmış üstel eğriye ait katsayı 0.37 olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler frekans ortamında gürültü incelemesinde elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Şekil 4.73 ve Şekil 4.74 incelendiğinde, gridli ölçümler sonucunda 3.1 lp/mm frekansa ait grid artefakt, NNPS grafiğinde katlanma etkisi olmadan 3.03 mm^{-1} meydana gelmiştir. Şekil 4.74'deki düşük frekanslardaki ve yüksek dozlardaki hızlı gürültü değişimi grid kullanımından kaynaklanmaktadır. 203.4 ve 365.2 μ Gy DAK değerinde yüksek frekanslarda artan dozun artmasıyla bir artefakt meydana gelmiştir. Bu durum düşük dozlarda mevcut değildir.

E) PaxScan

PaxScan sisteminde RQA-7 demet kalitesinde alınmış NNPS ve NNPSxDoz eğrileri Şekil 4.75, Şekil 4.76, Şekil 4.77 ve Şekil 4.78 deki gibidir. Yatay ve dikey yönde

NNPS davranışı diğer sistemlerde hemen hemen aynı iken, bu sistemde farklı bir davranış sergilemiştir. Şekil 4.75'deki yatay yöndeki NNPS davranışı incelendiğinde, yüksek dozlarda ve düşük frekanslarda yapısal gürültü etkenli gürültü davranışı mevcuttur. Şekil 4.76'daki yatay yöndeki NNPSxDoz eğrisinde ise tüm frekanslarda ve yüksek dozlarda baskın olan yapısal gürültü etkisi görülmektedir. Yatay yöndeki eğrinin dikey yöndeki eğriden farklı olmasının nedeni bu sistemde kolon şeklinde oluşan ölü piksellerin oluşturduğu kolon artefaktın var olmasıdır. Şekil 4.77'deki dikey yöndeki NNPS eğrileri incelendiğinde 3mm^{-1} 'de artefakt meydana gelmiştir. Yatay yöndeki düşük frekanslardaki yapısal gürültü etkisi dikey yöndeki eğrilerde de mevcuttur. Fakat Şekil 4.78'deki NNPSxDoz eğrisi incelendiğinde sistemin düşük frekanslarda kuantum sınırlı davranışı mevcut iken yüksek frekanslarda elektronik gürültü kaynaklı düşük dozlardaki eğrilerde ayrılmalar meydana gelmiştir. Bu sisteme ait RQA-7 demet kalitesinde, RSD-DAK eğrilerinden elde edilen gürültü katsayılarının sıralaması $s > q > e$ şeklinde, STD-DAK için ise $q > s > e$ şeklinde, üstel eğriye ait katsayı 0.547 olarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda uzaysal ve frekans ortamında yatay yöndeki gürültü incelemelerinde sistemin kuantum sınırına yakın çalıştığı fakat sistemdeki yapısal gürültünün varlığını göstermektedir. Frekans ortamında dikey yöndeki gürültü incelemelerinde ise sistemin gürültü davranışı uzaysal ortamdaki gürültü analizi ile örtüşmemektedir.

6lp/mm'lik grid frekansına sahip grid ile alınmış Şekil 4.79, Şekil 4.80, Şekil 4.81 ve Şekil 4.82'deki NNPS ve NNPSxDoz eğrilerin incelendiğinde gridsiz ölçümlerle aynı gürültü davranışı meydana gelmiştir. Fakat gridin neden olduğu artefakt, nyquist frekansında pikin kuyruk kısmının meydana gelmesiyle oluşmuştur. Ayrıca artefakt katlanma etkisi sonucu 2mm^{-1} frekans değerine de yansımıştır.

Kazanç ve offset kalibrasyonlarının yapılarak ölçümün alındığı Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86 eğriler incelendiğinde kalibrasyonlar ile Şekil 4.77'de 3mm^{-1} 'de meydana gelen artefakt nedeni pikin kalibrasyonlar ile yok edildiği görülmektedir. Bu kalibrasyonlar ile Şekil 4.84 ve Şekil 4.86'daki NNPSxDoz eğrilerinde sistemin düşük frekanslarda kuantum sınırlı çalıştığı yüksek frekanslarda kuantum sınırından elektronik gürültü nedeni ile ayrıldığı görülmektedir. Kalibrasyonların yapıldığı yatay ve dikey yöndeki tüm NNPS eğrileri incelendiğinde, düşük frekanslarda ve yüksek dozlarda açığa çıkan yapısal gürültü etkenli gürültüdeki düşüş kaybolmuştur. PaxScan

sisteminde yapılan kalibrasyonlar sistemin yatay ve dikey yöndeki gürültü davranışını eşitlemiştir. Kalibrasyonların yapıldığı uzaysal ortamdaki gürültü incelemesinde, RSD-DAK ve STD-DAK eğrilerinden elde edilen gürültü katsayılarının sıralaması $q > e > s$ olarak, üstel eğriye ait katsayı 0.48 olarak hesaplanmıştır. Kalibrasyonların yapılmadığı duruma göre katsayılardaki sıralamanın değişmesi, kalibrasyonların yapısal gürültüyü iyileştirdiği fakat elektronik gürültü üzerinde iyileştirmeyi tam yapamadığını göstermektedir.

5.5 Farklı Frekans Değerlerinde, NNPS-DAK Eğrilerindeki Gürültü Bileşenlerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde DRX-1C, Toshiba FDX4343R ve PaxScan sistemlerinde gridli, gridsiz çalışmaya ait veriler değerlendirilecektir.

A) DRX-1C

DRX-1C sisteminde gridsiz olarak NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültükaynaklarının ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği Şekil 4.87, Şekil 4.88, Şekil 4.89, Şekil 4.90, Şekil 4.91 ve Şekil 4.93'deki veriler incelendiğinde, kuantum gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde azaldığı, elektronik gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde arttığı, yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde azaldığı görülmektedir. DRX-1C sistemi için kuantum gürültü tüm frekanslarda baskın iken, 0.5mm^{-1} 'de yapısal gürültü elektronik gürültüden daha büyükken, elektronik gürültü 2mm^{-1} frekans değerinde yapısal gürültüden daha büyüktür. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.92'deki veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK değerinde $q > e > s$ şeklindeki iken, ölçümün alındığı en yüksek DAK değerinde $q > s > e$ şeklindedir. Şekil 4.92'deki uzaysal ortamda alınan ölçüm, frekans ortamındaki Şekil 4.89'deki 2mm^{-1} frekans değerindeki ölçüm ile benzer gürültü davranışı sergilemektedir.

DRX-1C sisteminde NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültülerin ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği gridli ölçüme ait Şekil 4.94, Şekil 4.95, Şekil 4.96, Şekil 4.97, Şekil 4.98 ve Şekil 4.100'deki veriler incelendiğinde, kuantum

gürültüye ait katsayının, artan frekans değerlerinde azaldığı, elektronik gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde arttığı, yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde azaldığı görülmektedir. Grid artefaktın pikinin ortaya çıktığı 1.29mm^{-1} değerinde yapısal gürültüye ait katsayının diğer gürültü kaynaklarına göre baskın olduğu görülmektedir. Bu frekans haricindeki diğer frekans değerlerinde kuantum gürültü baskındır. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.99'deki veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK değerinde $q > e > s$ şeklindeki iken, ölçümün alındığı en yüksek DAK değerinde $s > q > e$ şeklindedir. Gridli ölçüme ait uzaysal ortamdaki veriler frekans ortamındaki 2mm^{-1} 'deki gürültü davranışı ile benzer bir davranış sergilemektedir.

B) Toshiba FDX4343R

Toshiba FDX4343R sisteminde gridsiz olarak NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültülerin ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği Şekil 4.101, Şekil 4.102, Şekil 4.103, Şekil 4.104, Şekil 4.105 ve Şekil 4.107'deki veriler incelendiğinde kuantum gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde azaldığı, elektronik gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde arttığı, yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde azaldığı görülmektedir. Toshiba FDX4343R sistemi için kuantum gürültü 0.5mm^{-1} , 1mm^{-1} ve 2mm^{-1} 'de tüm gürültü kaynaklarına göre baskın, elektronik gürültü katsayısı yapısal gürültü katsayısından daha büyüktür. 3mm^{-1} ve Nyquist frekanslarında elektronik gürültü diğerlerine göre daha büyüktür. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.106'deki veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK değerinde $e > q > s$ şeklindeki iken, ölçümün alındığı en yüksek DAK değerinde $q > s > e$ şeklindedir. Şekil 4.106'deki uzaysal ortamda alınan ölçüm, frekans ortamındaki 2mm^{-1} frekans değerindeki ölçüm ile benzer gürültü davranışı sergilemektedir.

Toshiba FDX4343R sisteminde NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültülerin ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği gridli ölçüme ait Şekil 4.108, Şekil 4.109, Şekil 4.110, Şekil 4.111, Şekil 4.112 ve Şekil 4.114 veriler incelendiğinde; kuantum gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde azaldığı, 3mm^{-1} frekans değerinde en düşük değere ulaştığı, nyquist frekansında tekrar arttığı görülmektedir. Yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde arttığı görülmektedir.

Grid artefakt pikinin ortaya çıktığı 3mm^{-1} frekans değerinde, yapısal gürültüye ait katsayının diğer gürültü kaynaklarına göre baskın olduğu görülmektedir. Elektronik gürültüye farklı frekans değerlerinde farklı genliklerdedir. Elektronik gürültünün frekansa bağlı genliklerindeki farklılıklar, gridli ölçümde değerlendirilmesi daha zor bir hal almıştır. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.113'deki veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK ve en yüksek DAK değerinde $s > q > e$ şeklindedir. Gridli ölçüme ait uzaysal ortamda alınan ölçüm, frekans ortamındaki Nyquist frekans değerindeki ölçüm ile benzer gürültü davranışı sergilemektedir.

C) PaxScan

PaxScan sisteminde gridsiz olarak NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültülerin ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği Şekil 4.115, Şekil 4.116, Şekil 4.117, Şekil 4.118, Şekil 4.119 ve Şekil 4.121'deki verilere göre kuantum gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde azaldığı, elektronik gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde arttığı, yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde azaldığı görülmektedir. PaxScan sistemi için kuantum gürültü tüm frekanslarda baskın iken, 0.5mm^{-1} 'de yapısal gürültü katsayısı elektronik gürültü katsayısından daha büyükken, elektronik gürültü 1mm^{-1} frekans değerinde yapısal gürültüden daha büyüktür. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.120'deki veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK değerinde $q > e > s$ şeklindeki iken, ölçümün alındığı en yüksek DAK değerinde $s > q > e$ şeklindedir. Şekil 4.120'deki uzaysal ortamda alınan ölçüm, frekans ortamındaki herhangi frekans değerindeki ölçüm ile benzer gürültü davranışı sergilememektedir.

PaxScan sisteminde NNPS eğrisindeki farklı frekans değerlerindeki gürültülerin ayrıştırılarak DAK değişkeni ile incelendiği gridli ölçüme ait Şekil 4.122, Şekil 4.123, Şekil 4.124, Şekil 4.125, Şekil 4.126 ve Şekil 4.128'deki veriler incelendiğinde; kuantum gürültüye ait katsayının artan frekans değerlerinde azaldığı, yapısal gürültüye ait katsayının ise artan frekans değerlerinde azaldığı görülmektedir. Fakat grid artefaktın pikinin ortaya çıktığı Nyquist frekansı değerinde yapısal gürültüye ait katsayının diğer gürültü kaynaklarına göre baskın olduğu görülmektedir. Tüm frekans değerlerinde yapısal gürültü baskındır. Gürültünün uzaysal ortamda incelendiği Şekil 4.127'deki

veriler doğrultusunda gürültü katsayıları sıralaması ölçümün alındığı en düşük DAK değerinde $q > e > s$ şeklindeki iken, ölçümün alındığı en yüksek DAK değerinde $s > q > e$ şeklindedir. Gridli ölçüme ait uzaysal ortamda alınan ölçüm, frekans ortamındaki herhangi frekans değerindeki ölçüm ile benzer gürültü davranışı sergilememektedir.

Elde edilen deney sonuçları neticesinde, elektronik gürültü genliği, frekans ortamındaki temsili yüksek frekanslarda yüksekken, yapısal gürültü genliği düşük frekanslarda daha yüksektir. Kuantum gürültü, artan frekans değerlerinde genel davranışı azalış yönündedir. Gridli ölçümlerde açığa çıkan grid artefakt kaynaklı piklerin elde edildiği frekanslarda yapısal gürültü hep baskın olan gürültü kaynağıdır.

5.6 Farklı Grid Özelliklerinin Gürültü Üzerinde Etkisinin Değerlendirilmesi

Şekil 4.129'daki STD-DAK eğrisi için, grid frekansının azalmasıyla yapısal gürültünün arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.130'daki STD-DAK eğrisi için değişen grid oranıyla, yapısal gürültüde belirgin bir değişim bulunamamıştır. Şekil 4.130'daki STD-DAK eğrisi için grid oranının artmasıyla kuantum gürültü katsayısı azalmıştır. Şekil 4.131'daki STD-DAK eğrisi için üstel değerlerin, grid frekansının azalmasıyla arttıkları gözlemlenmiştir. Şekil 4.132'daki STD-DAK eğrisi için üstel değerler grid oranının artmasıyla değişmediği gözlemlenmiştir.

Ölçümler sonucunda Şekil 4.133'deki değişen grid frekanslarında, RSD-DAK analizinde grid frekansının azalmasıyla yapısal gürültü katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.134'deki RSD-DAK eğrisi için grid oranının artmasıyla kuantum gürültünün azaldığı gözlemlenmiştir. Grid oranının artmasıyla ayrıca T_p (birincil geçirgenlik) değeri azalmaktadır(Çizelge 3.4). Değişen grid oranıyla yapısal gürültüde bir değişim gözlemlenmemiştir. Şekil 4.133 ve Şekil 4.134'deki RSD-DAK eğrisi katsayılarına göre, grid kullanımı ile gridsiz göre kuantum gürültünün azaldığı gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ

Sonuç olarak tez kapsamında 5 farklı sistemde, farklı demet kalitelerinde gridsiz, gridli ve kalibrasyon etkilerinin gürültü kaynakları üzerinde etkileri araştırılmıştır. Dedektörlerin yüksek görüntü kalitesi sağlamada gerekli olan kuantum sınırlı çalışma aralığı önemli olduğu için bazı sistemler dedektörün doyuma ulaştığı doz sınırına kadar, dar çalışma bölgesinde kuantum sınırlı çalışmaktadır. Yapılan gürültü analizinde DRX-1C ve Toshiba FDX4343R sistemi geniş kuantum sınırlı çalışma doz aralığı sunmuştur. Trixell Pixium 4600'de yapılan gürültü analizinde ham görüntülerde filtre etkisi olmasından dolayı sistemin yalın performansı tam anlamıyla irdelenememiştir.

Çalışmalar sonucunda; tüm veriler değerlendirildiğinde, bağıl gürültünün artan dozlar ile azaldığı gözlemlenmiştir. Yapısal gürültü bileşeninin artan doz değerlerinde arttığı, elektronik gürültünün düşük doz bölgesinde baskın olduğu görülmüştür.

Dedektörün gürültü performansında grid ve kalibrasyonların etkili olduğu görülmüştür. Gridin yapısal gürültü bileşenini arttırdığı gözlemlenmiştir. Dowsett. D.J'nin The Pysics of Diaognostic Image adlı kitabında radyolojide kullanılması gereken gridin sabit olması durumunda frekansın 70lp/cm olmasını, gridin hareketli olmasında ise 40lp/cm olmasını gerektiği tavsiye etmektedir. Gridin hareketli veya sabit olması durumuna göre yapısal gürültü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapısal gürültü genliği, gridin tavsiye edilen frekanslarda kullanıldığı durumda, hareketli grid tasarımında sabite göre yüksek olmadığı bulunmuştur. Kalibrasyonlar ile yapısal ve elektronik gürültü bileşenlerine ait katsayıların düştüğü, kuantum gürültü bileşenine ait katsayının arttığı ve dedektörün ideal kuantum sınırlı davranışa yaklaştığı görüldü. Kazanç kalibrasyonunun yapısal gürültü bileşenini iyileştirdiği, offset kalibrasyonunun ise elektronik gürültü bileşenini düşürdüğü, ancak tamamen yok etmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenlerden dolayı her sistemin ideal kuantum sınırlı davranışta olması için firma tarafından tavsiye edilen demet kalitelerinde ve koşullarında o dedektörün kazanç ve offset kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar sonucunda dedektörünün kalibrasyon yapıldığı ve grid kullanılmadığı durumda kuantum sınırlı davranışa yaklaştığı sonucu çıkarılabilir. Yani tüm dozlarda baskın olan gürültü kaynağı kuantum gürültüdür.

Sistemlerin AEC referans doz seviyeleri yapılan kalite kontrol testleriyle belirlenmiştir. Sistemlerin AEC referans doz seviyelerinde çalıştığı durumda, gürültü performansı incelenecek olursa; DRX-1C sisteminin referans doz seviyesi 5uGy'dir. 5uGy doz değeri STD-DAK ve RSD-DAK gürültü analizinden elde edilen sonuçlara göre kuantum sınırlı aralığa girmektedir. Toshiba FDX4343R sisteminin referans doz seviyesi 8uGy'dir. 8uGy doz değeri her iki yöntemden elde edilen kuantum sınırlı çalışma aralığına girmektedir. Fakat bu sistemin gridli ölçümünde kuantum sınırlı çalışma aralığı mevcut olmadığı için, gridli ölçümlerde Toshiba FDX4343R dedektörü referans doz seviyesinde kuantum sınırlı çalışmamaktadır. Trixell Pixium 4600 sisteminin referans doz seviyesi 4uGy'dir. Dedektör referans doz seviyesinde gridli çalıştığı durumda dahil olmak üzere kuantum sınırlı çalışmaktadır. Siemens Mamomat Inspiration sisteminin referans doz seviyesi 70uGy'dir. Aynı şekilde referans doz seviyesi, her iki yöntemde elde edilen kuantum sınırlı çalışma aralığına girmektedir. PaxScan sisteminde çalışır halde AEC sistemi olmadığı için böyle bir değerlendirme yapılamamıştır.

Farklı gürültü analizlerinden elde edilen sonuçlar neticesinde; gürültünün frekans ve uzaysal ortamdaki karşılaştırılmasında gözlenen farklılıklar, analizde kullanılan ilgi alanlarının farklı boyutlarda olmasından kaynaklanmaktadır. NNPS incelemesinde 1024x1024 piksellerden oluşan ROI'ler seçilirken, STD-DAK ve RSD-DAK analizinde kullanılan ROI'ler 20x20cm boyutlarındadır. Bu durumda uzaysal ortamda daha küçük alandan yapılan gürültü ölçümünde, heel etkisi gibi etkiler en aza indirgenerek ölçümlerde farklılıklar meydana gelmiştir. Farklılıkların bir diğer nedeni ise uzaysal ortamda yapılan gürültü analizinde, gürültü değerlendirmesi görüntüde tüm boyutlarda gerçekleşirken, frekans ortamında tek yönde olmasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, gridin yapısal gürültüyü arttırarak görüntü kalitesini bozması sebebiyle, gridlerin yapısal gürültü üzerinde etkisini azaltmak için yüksek frekanslı, düşük grid oranına sahip, hareketli grid tasarımı önerilmektedir. Sistemlerin ideal x-ışın kuantum sınırlı sisteme yakın performans sergilemesi için kazanç ve offset kalibrasyonlarının üretici firmanın tavsiye ettiği metot ile belirlediği zaman zarfı içerisinde yapılmasını önerilmektedir. Her sistem için belirlenen kuantum sınırlı çalışma doz aralığı ile AEC referans doz seviyelerinin uyumlu olup olmadığına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Arthur Burgess. On the noise variance of a digital mammography system. Med. Phys. 31 .7., July 2004.
- Bushberg J.T., Seibert J. A. Essential Physics of Medical Imaging, Lippincot Williams&Wilkins, Second Edition 2002.
- Borasi G, Nitrosi A, Ferrari P, Tassoni D. On site evaluation of three flat panel detectors for digital radiography. Med Phys. 2003 Jul;30(7):1719-31.
- Bor, D. Diagnostik Radyoloji Fiziği Ders Notları. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2002.
- Caterina Ghetti, Adriano Borrini, Ornella Ortenzia, Raffaella Rossi, Pedro L. Ordóñez. Physical characteristics of GE Senographe Essential and DS digital mammography detectors. Med. Phys. 35 (2), February 2008
- Dowsett David J. , Kenny Patrick A. The Physics of Diagnostic Imaging : Second edition September 2013 syf 68
- G K Yadava, A T Kuhls-Gilcrist, S Rudin, V K Patel, K R Hoffmann and D R Bednarek. A practical exposure-equivalent metric for instrumentation noise in x-ray imaging systems. Phys. Med. Biol. 53 (2008) 5107–5121
- James T. Dobbins III, Ehsan Samei, Nicole T. Ranger, and Ying Chen. Intercomparison of methods for image quality characterization. II. Noise power spectrum). Med. Phys. 33 (5), May 2006
- J. H. Siewerdsen, L. E. Antonuk, Y. El-Mohri, J. Yorkston, W. Huang, J. M. Boudry, and I. A. Cunningham. Empirical and theoretical investigation of the noise performance of indirect detection, active matrix flat-panel imagers (AMFPIs) for diagnostic radiology. Med. Phys. 24 (1), January 1997
- IEC 61267-2 Medical diagnostic X-ray equipment-radiation conditions for use in the determination of characteristics. International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2005.
- IEC 62220-1 Medical Electrical Equipment-Characteristics of Digital X-ray imaging devices-Part 1: Determination of the Detective Quantum Efficiency. IEC-62220-1:2003(E).
- IPEM Report Number 32, PART VII Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-Ray Systems: Digital Imaging Systems. Institute of Physics and Engineering in Medicine 2010

Marshall NW, Monnin P, Bosmans H, Bochud FO, Verdun FR. Image quality assessment in digital mammography: part I. Technical characterization of the systems. *Phys Med Biol*. 2011 Jul 21;56(14):4201-20

Seçil M. Dijital Radyoloji ders notları. Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, İzmir 2002

Olğar, T. Girişimsel Anjiyografide Optimum Doz Ölçüm Yöntemlerinin Görüntü Kalitesine Bağlı Olarak Geliştirilmesi, Ankara, 2004

Olğar, T. Temel Radyoloji, Editör Prof. Dr. İbrahim Tanzer Sancak, Güneş Tıp Kitabevleri Ltd. Şti., 2013, (Bölüm 1)

Spahn Martin Flat detectors and their clinical applications. Springer-Verlag 2005

Stefano Rivetti, Nico Lanconelli, Marco Bertolini, Domenico Acchiappati. A new clinical unit for digital radiography based on a thick amorphous Selenium plate: Physical and psychophysical characterization. *Med. Phys.* 38 (8), August 2011

Stefano Rivetti. Physical and psychophysical characterization of a novel clinical system for digital mammography. *Med. Phys.* 36 (11), November 2009

www.dpsguide.com

Young KC, Oduko JM, Bosmans H, Nijs K, Martinez L. Optimal beam quality selection in digital mammography. *Br J Radiol*. 2006 Dec;79(948):981-90.

Yadava GK, Kuhls-Gilcrist AT, Rudin S, Patel VK, Hoffmann KR, Bednarek DR. A practical exposure-equivalent metric for instrumentation noise in x-ray imaging systems. *Phys Med Biol*. 2008 Sep 21;53(18):5107-21

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Lutfi ERGÜN

Doğum Yeri: Bolvadin

Doğum Tarihi: 24.05.1988

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl);

Lise : Bolvadin Anadolu Lisesi(2002-2006)

Lisans : Gaziantep Üniversitesi Fizik Mühendisliği(2007-2012)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü (2012-2015)

Yayımlar

L. Ergün, B. Yaman, A. Güven, A. Rasim Yusuf, A. Yalçın, Ş. Çubukçu, Ö. Birgül, T. Olğar, D. Bor , “Farklı Radyolojik İnceleme Koşulları için Geniş Alan Dedektörü Kullanılarak DQE ve eDQE Kıyaslaması”, pp.85, XIV. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 21-24 Kasım 2013, Antalya, Türkiye

Rasim Yusuf, A. Güven, B. Yaman, L. Ergün, A. Yalçın, Ö. Birgül, T. Olğar, D. Bor, “Farklı Fantomlarda Saçılan Işınlardan Demet Durdurma (Beamstop) Tekniği ile Ölçülmesi ve Hasta Dozu ile Görüntü Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi”, pp.87, XIV. Ulusal Medikal Fizik Kongresi, 21-24 Kasım 2013, Antalya, Türkiye