

## Floroskopik Sistemlerde Görüntü Kalitesinin Matematiksel Olarak Değerlendirilmesi

Turan OLĞAR

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü – Tandoğan / ANKARA

Alınış tarihi: 16.02.2007, Kabul: 24.01.2008

**Özet:** Bu çalışmada, girişimsel anjiyografi incelemelerinde kullanılan bir anjiyo sisteminin görüntü kalitesi matematiksel yöntemlerle ölçülmüştür. Dijital sistemlerin performans ölçümleri için uygulanan yeni yöntemler, anjiyografik sistemlerin görüntü kalitesinin nümerik olarak değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu bağlamda MTF (Modülasyon Transfer Fonksiyonu) , NPS (Gürültü Dağılım Spektrumu) ölçülmüş ve DQE (Deteksiyon Kuantum Etkinliği) bu ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü Kalitesi, Modülasyon Transfer Fonksiyonu, Gürültü Dağılım Spektrumu, Dedeksiyon Kuantum Etkinliği

## Mathematical Evaluation of Image Quality in Fluoroscopic Units

**Abstract:** In this study, numeric measurement of image quality is made for the system used in interventional angiographic investigations. The new techniques which are originally established for the performance measurements of digital systems are used for the numeric evaluation in image quality of angiographic systems. For this purpose MTF (Modulation Transfer Function) , NPS (Noise Power Spectrum) are measured and DQE (Detective Quantum Efficiency) is calculated from these measurements.

**Key Words:** Image Quality, Modulation Transfer Function, Noise Power Spectrum, Detective Quantum Efficiency.

### Giriş

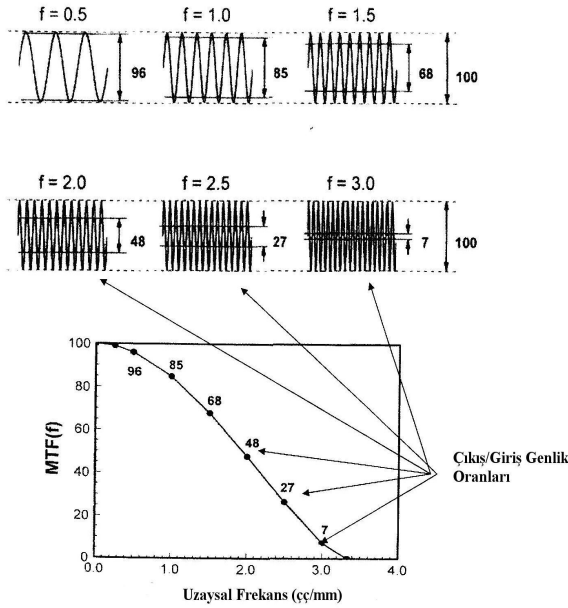
Sayısal görüntüleme görüntü kalitesinin analizi için genelde tüm sistemin görüntü kalitesini ifade eden dedeksiyon kuantum etkinliği,  $(DQE(f))$ , kullanılmaktadır. Deteksiyon kuantum etkinliği sistemin ayırma gücünü gösteren modülasyon transfer fonksiyonu  $(MTF(f))$  ve görüntüleme sisteminin frekansa bağlı gürültü boyutunu ifade eden ve literatürde Wiener spektrumu  $(W(f))$  olarak da anılan gürültü dağılım spektrumunun  $(NPS(f))$  ölçülmesi aracılığıyla elde edilebilir. Ölçüm sonuçlarının farklı sistemlerle alınan ölçümler ile karşılaştırılması amacıyla IEC (2003), (=International Electrotechnical Commission),  $DQE$ 'nin saptanmasında kullanılmak üzere standart x-ışını spektrumları önermiştir. Dedeksiyon kuantum etkinliği genellikle farklı demet kalitelerinde ölçülür. Fakat tek bir demet kalitesinde ölçülecek ise bu spektrumun RQ5 olması önerilmektedir. Bu çalışmada RQ5 kodu ile verilen ( kVp = 70, HVL = 7.1 mm Al ve Ek Filtrasyon = 21 mm Al ) x – ışını spektrumu kullanılacaktır (IEC, 2003). Bir girişimsel anjiyografi sistemi için DQE genellikle farklı görüntü güçlendirici giriş dozlarında ve görüntü güçlendirici büyütme modlarında ölçülür. Bu çalışmada tek bir giriş dozunda ve büyütme modunda DQE ölçülecektir. Zira artan görüntü güçlendirici giriş dozu ve artan büyütme modunda görüntü kalitesi artarken hasta ve incelemeyi yapan hekimin alacağı radyasyon dozunun da artacağı

unutulmamalıdır. Görüntü kalitesinin yanında hasta ve çalışan dozunun optimum seviyede tutulması bu bakımdan son derece önemlidir. Görüntü kalitesinin matematiksel olarak belirlenmesinden önce, sistemlerden elde edilen detektör sinyalinin detektör girişine gelen ışınlama değeri ile nasıl değiştiğini saptamak gerekir. Bazı sistemlerde detektör sinyali, detektör üzerine gelen ışınlama ile çizgisel olarak değişirken bazılarında ise (genellikle floreskopik) logaritmik olarak değişmektedir. Dolayısıyla her bir sistem için doz-piksel değeri karakteristik eğrisinin belirlenmesi ve bu eğrilerin eğimlerinden yararlanarak görüntülerin ışınlama değeri ile çizgisel hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işleme çizgiselleştirme işlemi adı verilir.

### Materyal ve Yöntem

#### Modülasyon transfer fonksiyonu

Bir görüntüleme sisteminde ayırma gücü ve keskinliğin, (kontrastın), görüntüye birlikte etkisinin ölçülmesinde kullanılan yöntem modülasyon transfer fonksiyonudur ve kabaca kayıt edilen bilginin gelen bilgiye oranıdır. Bir görüntüleme sisteminin girişine aynı genlikte fakat farklı frekanslarda bir giriş bilgisi uygulanırsa, görüntüleme sisteminin çıkışında elde edilen bilginin genliği yüksek frekanslara gidildikçe düşer ve sonunda sistemin minimum çıkış verdiği bir sınıra ulaşılır (Şekil 1). Bu nokta sistemin ayırma gücünün sınırını (Nyquist frekansı) vermektedir.



**Şekil 1.** Birim uzunlukta farklı sayıda çizgi çifti içeren bir test fantomundan elde edilen modülasyon transfer fonksiyonu.

Modülasyon transfer fonksiyonu, bir görüntüleme sisteminin ayırma gücü performansını ifade etmekte kullanılır. Sistemin ayırma gücünün ölçümü için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunlar arasında en çok kullanılanlar;

- Yarıklık fantomu görüntüsü metodu. Bu fantomun görüntüsü ile çizgisel dağılım fonksiyonunu belirler ve çizgisel dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümünün alınması ile modülasyon transfer fonksiyonu elde edilir (Fujita vd., 1985; Fujita vd., 1992; Dobbins vd., 1995).
- Kenar görüntüleme metodu. Bu fantomun görüntüsü ile kenar dağılım fonksiyonu belirler. Kenar dağılım fonksiyonunun türevi alınarak çizgi dağılım fonksiyonu elde edilir ve çizgisel dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümünün alınması ile modülasyon transfer fonksiyonu elde edilir (Samei ve Flynn, 1998).
- Çizgi desen fantomu metodu. Belirli frekanslardaki harmonikleri elde etmek çok zor olduğundan yani minimum gerçek kare dalga yapmak çok zor olduğundan bu yöntem diğer iki yöntemle göre daha az kullanılmaktadır.

Teknik olarak bir sistemin ayırma gücü, iki objenin yerleştirilebildiği ve hala ayrı iki obje olarak görüntülenebildiği minimum mesafe olarak ifade edilir. Bu tanım görüntüleneni objenin şekline belirli ölçüde bağlı olduğu için pratik değildir. Görüntüleme sisteminin delta fonksiyonuna davranışı daha doğru bir tanımdır. Delta fonksiyonuna karşı bu davranış fonksiyonu noktasal

dağılım fonksiyonu (psf) olarak ifade edilir ve sistemin tüm uzaysal transfer bilgisini içermektedir. İki boyutlu modülasyon transfer fonksiyonu ( $MTF(f_x, f_y)$ ),

$$MTF(f_x, f_y) = |2DFT\{psf(x, y)\}| \quad (1)$$

denklemleri ile verilir. 2D FT iki boyutlu Fourier dönüşümünü, psf ise nokta dağılım fonksiyonunu vermektedir. Tek boyutlu MTF ise çok dar yarıklık ya da kenar metodunun kullanılması ile bulunabilir.

$$MTF(f_x) = FT\{l_{sf}(x)\} = FT\left\{\frac{d}{dx}[esf(x)]\right\} \quad (2)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada  $l_{sf}(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} psf(x, y)dy$

çizgisel dağılım fonksiyonu ve noktasal dağılım fonksiyonunun bir boyuttaki integralidir.  $esf(x)$  ise kenar dağılım fonksiyonudur. Çizgisel dağılım fonksiyonu, görüntüleme sistemi dedektörüne hafif açıldırılmış ince bir yarıklık görüntüsünden direkt olarak ya da kurşun (tungsten, bakır) levhanın görüntüsünden kenar dağılım fonksiyonunun belirlenmesi aracılığıyla dolaylı yoldan elde edilebilir. Levhanın, anot-katod eksenine hafif açıldırılmasının sebebi ince örneklenmiş kenar ya da çizgisel dağılım fonksiyonunun ve dolayısıyla ince örneklenmiş  $MTF$ 'in elde edilmesidir. İnce örnekleme yapılmadan ölçülen  $MTF$  piksel boyutu ile sınırlıdır (Nyquist frekansı). İnce örnekleme yapılarak (piksel boyutunun küçülmesi) Nyquist frekansı üzerinde sistemin davranışı elde edilebilir. Sonuç olarak tek boyutlu  $MTF$ ,

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} l_{sf}(x) e^{-2\pi i x f_x} dx &= \left| \int_{-\infty}^{+\infty} \{psf(x, y)\} e^{-2\pi i x f_x} dx \right| \\ &= |2DFT\{psf(x, y)\}|_{f_y=0} \\ &= MTF(f_x, 0) \end{aligned} \quad (3)$$

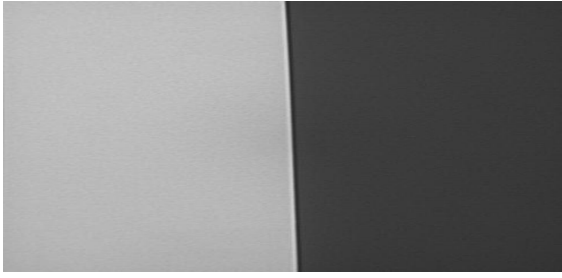
şeklinde ifade edilebilir (Williams vd., 1999). Modülasyon transfer fonksiyonu, frekans uzayında

örnekleme sıklığı  $\Delta f_x = \frac{1}{N_x \Delta x}$  ile

belirlenir. Burada  $N_x$ , kenar dağılım fonksiyonunun ya da çizgisel dağılım fonksiyonunun belirlenmesinde kullanılan piksel sayısı ve  $\Delta x$  ise  $x$ -ekseni yönündeki mm cinsinden piksel boyutudur. Görüntüleme sisteminin ayırma gücünün doğrulukla ölçülebildiği sınır frekans

Nyquist frekansı olarak adlandırılır ve  $f_{Nyquist} = \frac{1}{2\Delta x}$

ile verilir. Modülasyon transfer fonksiyonunun ölçülmesi için bu çalışmada kullanılacak kenar metodunun görüntüsü Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. Tungsten bir levhanın görüntüsü

### Gürültü dağılım spektrumu

Bir x-ışını anjiyografi sisteminden elde edilen homojen bir görüntü, kuantum gürültüsüne ve görüntüleme sisteminin dedektör, fosfor yapısı gibi elemanlarının doğurduğu gürültüye bağlı olarak bölgesel olarak şiddet farklılıkları içerir. Sonuç olarak sayısal hale getirilen görüntüde bu şiddet farklılığından dolayı, piksellerin değerleri de kendi aralarında farklılıklar içerecektir. Gürültü basit anlamda, pikseller arasındaki bu değer farklılıklarının karekök ortalaması (rms değeri) olarak ifade edilebilir. Fakat gürültünün bu şekilde tanımlanması uzaysal frekans ile değişimini vermemektedir ve sadece gürültünün birinci dereceden boyutunu ifade etmektedir (Giger vd., 1986; Marsh vd., 1995). Görüntüdeki gürültünün daha ayrıntılı ifadesi yani frekans uzayında frekansa bağlı olarak genlik değişimleri gürültü dağılım spektrumunun, ( $NPS(f)$ ), ya da başka bir ifade ile

Wiener spektrumunun,  $W(f)$ , ölçülmesiyle elde edilir.

Homojen ışınlama sonucu elde edilen radyografik görüntü daha küçük ilgili alanlara bölünerek sayısal hale getirilir ve her bir bölgenin iki boyutlu gürültü dağılım spektrumu, frekans uzayında iki boyutlu Fourier dönüşümü ile elde edilir. Gürültü dağılım spektrumu bu ilgili bölgelerden elde edilen gürültü dağılım spektrumlarının ortalamasıdır. İki boyutlu gürültü dağılım spektrumu,

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

$$NPS(f_x, f_y) = \frac{\left\langle \left| FT \{ \delta_s(x_i, y_j) \} \right|^2 \right\rangle}{N_x N_y} \Delta x \Delta y \quad (5)$$

bağıntısı ile verilir. [Dobbins vd., 1995; Williams vd., 1999; Bath, 2003]. Burada  $\delta_s(x_i, y_j)$ ,

$$\delta_s(x_i, y_j) = [I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)] \quad \text{olarak}$$

verilmiştir.  $I(x_i, y_j)$ , sayısal hale getirilen gerçek görüntünün  $x_i, y_j$  noktasındaki pikselinin sayısal olarak

değeri ve  $S(x_i, y_j)$ , görüntüdeki düşük frekanslı ya da homojen olmayan gürültünün (heel etkisi gibi) gerçek görüntüden kaldırılması için görüntüye uygulanan iki

boyutlu alçak frekans geçiren filtrenin ( $x_i, y_j$ ) noktasındaki değeri ya da sayısal görüntünün ortalama değeridir.  $N_x$  ve  $N_y$  görüntünün yatay ve dikey yöndeki piksel sayısıdır ve  $128 \times 128$ ,  $256 \times 256$  ya da  $512 \times 512$  olarak verilir.  $\Delta_x$  ve  $\Delta_y$  ise yatay ve dikey yönde piksel boyutunu ifade etmektedir.  $M$ , gürültü dağılım spektrumunun kaç tane ilgili alan üzerinden hesaplanıp ortalandığını göstermektedir. Bu çalışmada  $M = 10$  alınacaktır. Gürültü dağılım spektrumu frekans uzayında örneklenirken, örnekleme sıklığı modülasyon transfer fonksiyonunda olduğu gibi  $\Delta f_x = \frac{1}{N_x \Delta x}$  ile verilir.

Elde edilen iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun doğruluğunu sınamak için, iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun integralinin, toplam varyansa eşit olup olmadığına bakılır (Flynn ve Samei, 1999). Yani ,

$$\sigma_{\delta_s}^2 = \frac{1}{N^2} \sum_{n=1}^{N_x} \sum_{m=1}^{N_y} NPS(f_x, f_y) \quad (6)$$

Burada varyans,

$$\sigma_{\delta_s}^2 = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (\delta_s(x_i, y_j) \sqrt{\Delta x \Delta y})^2 \quad (7)$$

denklemi ile verilir. Dedeksiyon kuantum etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmak üzere genellikle dedektör sinyaline normalize edilmiş tek boyutlu gürültü dağılım spektrumu kullanılır. Tek boyutlu gürültü dağılım spektrumu, iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun herhangi bir ekseninin her iki tarafındaki  $\pm 7$  satırın ortalaması alınarak elde edilir. TV-Görüntü Güçlendirici sisteminin piksel değerlerine bağlı olarak elde edilen gürültü dağılım spektrumunun, dedeksiyon kuantum etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmak üzere ortalama dedektör sinyaline normalize edilmesi gerekir. Bunun için piksel değerlerine bağlı olarak elde edilen gürültü dağılım spektrumu,

$$NNPS(f) = \frac{NPS(f)}{G^2 (\log_{10} e)^2} \quad (8)$$

denklemi ile ortalama dedektör sinyaline normalize edilir. Burada  $G$ , logaritma bağlı x-ışını şiddetine karşı piksel değeri karakteristik eğrisinin görüntünün ortalama piksel değerindeki eğimidir.  $(\log_{10} e)$  ise TV-Görüntü güçlendirici sistemlerinde, dedektör sinyalinin ışınlama ile logaritmik olarak değişmesinden kaynaklanan bir faktördür (Giger vd, 1986; Maryellen vd.,1986). Dedektör sinyalinin ışınlama ile lineer değiştiği sistemlerde ise dedektör sinyaline normalize edilmiş gürültü dağılım spektrumu,

$$NNPS(f) = \frac{NPS(f)}{(GX)^2} \quad (9)$$

Burada  $G$ , yine doza karşı piksel değeri karakteristik eğrisinin eğimi ve  $X$  ise gürültü dağılım spektrumunun ölçüldüğü ışınlama değeridir. Şekil 3 de gürültü dağılım spektrumunun hesaplanması için kullanılan homojen bir görüntü verilmiştir.



**Şekil 3.** Gürültü dağılım spektrumunun belirlenmesinde kullanılan ve standart spektrum kullanılarak alınan görüntü

### Dedeksiyon kuantum etkinliği

Dedeksiyon kuantum etkinliği, görüntüleme sisteminin görüntü kalitesinin bir bütün olarak ifade eden temel parametredir. Dedeksiyon kuantum etkinliği kabaca, dedektörün çıkışında ölçülen sinyal-gürültü oranının girişteki sinyal gürültü oranına oranıdır.

$$DQE(f) = \frac{SNR_{çıkış}^2}{SNR_{giriş}^2} \quad (10)$$

Dedeksiyon kuantum etkinliğinin deneysel olarak ölçülmesi genellikle, modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü dağılım spektrumunun ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının uygun normalizasyondan sonra birleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Modülasyon transfer fonksiyonu ve gürültü dağılım spektrumu cinsinden  $DQE$ ,

$$DQE(f) = \frac{MTF^2(f)}{NNPS(f)qX} \quad (11)$$

$$DQE(f) = \frac{NEQ(f)}{q} \quad (12)$$

Burada,  $NEQ(f)$ ,  $f$  uzaysal frekansın fonksiyonu olarak gürültü eşdeğer kuantası olarak ifade edilir ve

$$NEQ(f) = \frac{MTF^2(f)}{NNPS(f)X} \quad (13)$$

bağıntısı ile verilir. Denklem 11 den  $NEQ = SNR_{çıkış}^2$  ve  $SNR_{giriş}^2 = q$  olduğu görülebilir. Burada  $MTF(f)$  tek boyutlu modülasyon transfer fonksiyonu,  $NNPS(f)$  bağlı x-ışını şiddeti cinsinden elde edilen tek boyutlu gürültü dağılım spektrumu,  $q$  birim alan ve birim ışınlama başına dedektör girişindeki foton sayısı ve  $X$ , gürültü dağılım spektrumunun ölçüldüğü ışınlama dozudur. Teorik olarak  $q$ , çok enerjili bir x-ışını spektrumu için

$$q = \frac{\left( \int q(E)EdE \right)^2}{\int q(E)E^2dE} \quad (14)$$

denklemini ile elde edilir. Burada  $q(E)$ ,  $E(keV)$  enerjisindeki foton sayısı ve her bir tüp voltaj-filtre kombinasyonu ve ortamın enerjiye bağlı kütle azalım katsayısı için simülasyon programlarından elde edilir. Tek enerjili bir x-ışını spektrumu için bilinen bir ışınlama değerinde,  $q$

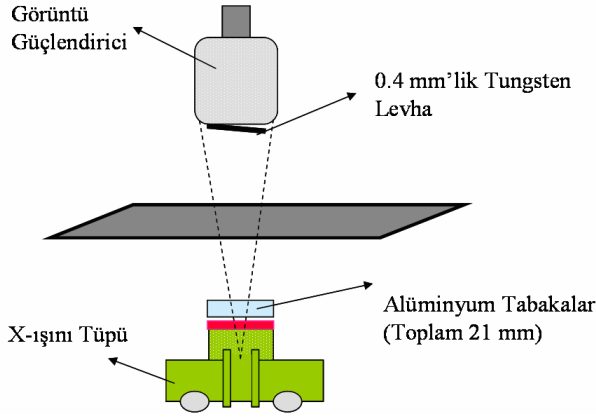
$$\frac{\Phi}{X} = \frac{5.43 \times 10^5}{(\mu(E)/\rho)_{en} E} \text{ (foton/mm}^2\text{mR)} \quad (15)$$

Burada  $\Phi$ , foton akısı,  $(\mu(E)/\rho)_{en}$  enerjiye bağlı kütle azalım katsayısı ve  $X$  miliröntgen biriminde ışınlama değeridir. Bu çalışmada  $q$ , IEC standartlarının RQ5 spektrumu için verdiği 30174 (foton/mm<sup>2</sup>  $\mu$ Gy)'değeri kullanılacaktır.

Görüntü kalitesinin nümerik olarak değerlendirilmesi, gürültü dağılım spektrumu ve modülasyon transfer fonksiyonunun ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Siemens Bicolor Plus/ T.O.P anjiyografi sistemi kullanılmıştır. Ölçümler sırasında izlenen protokoller aşağıdaki gibidir

### Modülasyon transfer fonksiyonunun ölçülmesi

Modülasyon transfer fonksiyonunun ölçülmesinde kenar metodu uygulanmıştır (Greer ve van Doorn, 2000; Buhr vd., 2003). Bunun için 0.4 mm kalınlığında bir tungsten levha, ince örneklenmiş çizgi dağılım fonksiyonunun elde edilmesi için katot – anot eksenine yaklaşık 5 derece açı ile görüntü güçlendiricinin yüzeyine Şekil 4 deki gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Modülasyon transfer fonksiyonu ölçüm geometrisi

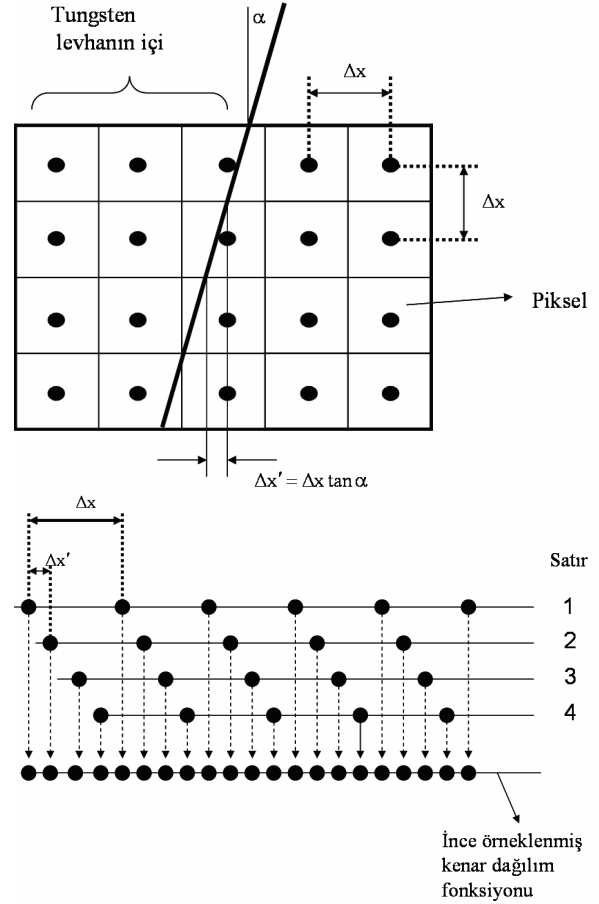
Modülasyon transfer fonksiyonunun ölçülmesinde izlenen algoritma aşağıdaki gibidir.

- 1) 0.4 mm kalınlığında tungsten levha şekil 4 deki gibi anot-katot eksenine ile yaklaşık  $5^\circ$  lik açı yapacak şekilde görüntü güçlendiricinin yüzeyine yapıştırılmıştır.
- 2) Görüntüler radyografi modunda, RQ5 standart spektrumu kullanılarak küçük odak noktası seçimi ile alınmıştır.
- 3) Anjiyografi sisteminde elde edilen görüntüler sıkıştırılmış DICOM formatında olduğu için, sıkıştırılmış DICOM görüntülerini açabilen ve başka formatta kayıt edilmesine olanak sağlayan DicomWorks, ezDICOM yada MRicro programları denenmiş ve görüntüdeki piksel derinliğinde değişikliğe neden olmadan görüntü dönüşümü sağlayan ezDICOM programı kullanılmıştır. Bu programda açılan görüntüler bitmap, (bmp), formatında kaydedilmiştir.
- 4) Tungsten levhanın görüntüsünden çizgisel dağılım fonksiyonunun uç kısımlarının içerilmesi için, ImageJ programı kullanılarak kenara dik düzlemde kenar geçiş noktasının  $\mp 50\text{mm}$  (Modülasyon transfer fonksiyonunun düşük frekanslardaki davranışının elde edilmesi) ve kenara paralel düzlemde ise  $\mp 30\text{mm}$  civarında ilgili alan seçilmiş ve düz metin, (txt), dosyası olarak kayıt edilmiştir. Bundan sonraki görüntü işlenmesi aşamalarında MATLAB 6.5. programı kullanılmıştır.
- 5) Seçilen ilgili alanda, kenara dik düzlemdeki her satır için  $\mp \Delta x$ ,  $\mp 2\Delta x$ , .....  $\mp N\Delta x$  konumlarındaki piksel değerlerinin, piksellerin kenardan olan dik uzaklıklarına (mm olarak) karşı çizdirilmesi ile kenar dağılım fonksiyonları oluşturulmuştur. Kenar dağılım fonksiyonlarının her birinin kesikli türevi alınarak elde edilen çizgisel dağılım fonksiyonlarının tepe noktalarından, kenarın her satırda hangi pikselden geçtiği saptanmıştır. Kenarın geçtiği noktalara lineer fit uygulanarak, doğrunun eğiminden ince örneklenmiş kenar dağılım fonksiyonunun elde

- 6) edilmesi için anot - katot eksenine boyunca fantoma verilen açı belirlenmiştir. Bir önceki aşamada belirlenen açı ile kenara dik düzlemde, kenarın bir piksel kaydığı satır sayısı aşağıdaki şekilden

$$N_{\text{satır}} = \frac{\Delta x}{\Delta x'} = \frac{1}{\tan \alpha} \quad (16)$$

denklemini ile bulunur.



Şekil 5. İnce örneklenmiş kenar dağılım fonksiyonunun oluşturulması.

- 7) Kenara dik düzlemde  $\mp \Delta x'$ ,  $\mp 2\Delta x'$ , .....  $\mp N\Delta x'$  konumlarındaki piksel değerlerinin, piksellerin kenardan olan uzaklıklarına (mm olarak) karşı çizdirilmesi ile ince örneklenmiş kenar dağılım fonksiyonu elde edilir. Burada  $\Delta x' = \Delta x \tan \alpha$  'dır ve ince örneklemeden sonraki piksel boyutu,  $\Delta x$  ise ince örneklemeden önceki gerçek piksel boyutudur.
- 8) Elde edilen kenar dağılım fonksiyonu gürültü etkisinin azaltılması için, (düzgünleştirme aradeğer) *smoothing spline* ya da *erf* fonksiyonlarının birisine uydurulduktan sonra kesikli türevi alınarak çizgi

dağılım fonksiyonu oluşturulmuştur. Çizgi dağılım fonksiyonu elde edilirken kenar dağılım fonksiyonunun, birçok veri noktasını içerdiği için *smoothing spline* fonksiyonuna uydurulması uygun görülmüştür.

Çizgi dağılım fonksiyonunun kesikli Fourier dönüşümü alınarak modülasyon transfer fonksiyonu bulunur. Modülasyon transfer fonksiyonu değerleri sıfır frekanstaki değere bölünerek, sıfır frekansında 1'e normalize edilir. Modülasyon transfer

fonsiyonu,  $\Delta f = \frac{1}{N\Delta x'}$  frekans değerlerine

karşılık çizdirilerek frekans uzayındaki değişimi incelenmiş olur. Burada  $N$ , ince örneklendirilmiş kenar ya da çizgi dağılım fonksiyonunun oluşturulmasında kullanılan piksel sayısıdır.

### Gürültü dağılım spektrumunun elde edilmesi

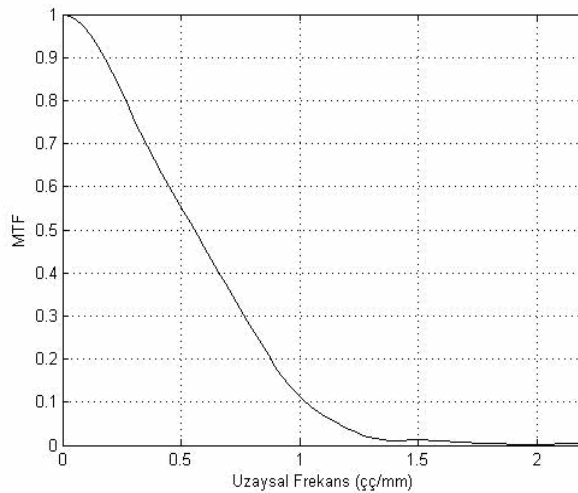
Gürültü dağılım spektrumunun ölçülmesinde, tungsten levha hariç Şekil 4 deki ölçüm geometrisi kurulmuştur ve ölçümlerde izlenen algoritma aşağıdaki gibidir.

- 1) Görüntüler radyografi modunda, RQ5 standart spektrumu kullanılarak küçük odak noktası seçimi ile toplanmıştır.
- 2) Homojen ışınlama sonucu toplanan görüntüler sıkıştırılmış DICOM formatında olduğu için, sıkıştırılmış DICOM görüntülerini açabilen ve başka formatta kayıt edilmesine olanak sağlayan DicomWorks, ezDICOM yada MRICro programları denenmiş ve görüntüdeki piksel derinliğinde değişikliğe neden olmadan görüntü dönüşümü sağlayan ezDICOM programı kullanılmıştır. Bu programda açılan görüntüler Bitmap formatında kaydedilmiştir.
- 3) İmageJ programı kullanılarak görüntü, 10 tane 128×128'lik ilgili alana bölünerek sayısal hale getirilir. Elde edilen küçük boyuttaki 10 sayısal görüntünün her birisine MATLAB 6.5 programı kullanılarak sıradaki işlemler uygulanmıştır.
- 4) Görüntüde (heel etkisi gibi) düşük frekanslı gürültüyü kaldırmak için görüntüye iki boyutlu alçak frekans geçiren filtre uygulanır (Wiener2).
- 5) Görüntüye iki boyutlu hızlı Fourier dönüşümü uygulanır.
- 6) Fourier dönüşümünün mutlak değerinin karesi alınır ve böylece 2 boyutlu gürültü dağılım spektrumu elde edilir.
- 7) Elde edilen spektrumun doğruluğunu sınamak için varyansın karesinin, iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun integraline eşit olup olmadığına bakılır.
- 8) Adım 7 işlemi doğrulandıktan sonra tek boyutlu gürültü dağılım spektrumunu elde etmek için, iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun bir yöndeki eksenin 7 satır üstünde ve 7 satır altında dilimlenerek alınır ve ortalaması alınır.
- 9) Adım 4 ile 8 arasındaki işlemler seçilen tüm ilgili alanlar (10 tane 128×128'lik görüntü) için tekrarlanır ortalama bir gürültü dağılım spektrumu elde edilir.

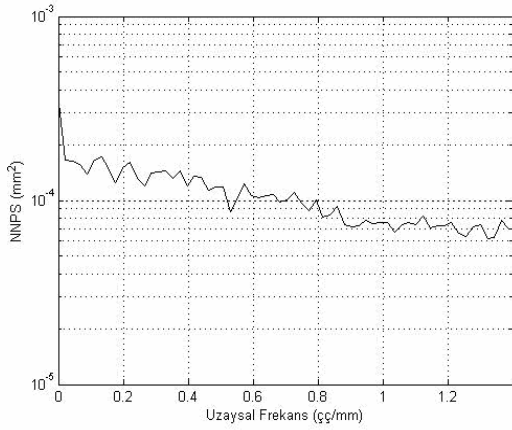
- 10) Dedeksiyon kuantum etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmak üzere piksel değerlerine bağlı olarak elde edilen tek boyutlu gürültü dağılım spektrumu, dedektör sinyaline normalize edilir.

### Sonuç ve Tartışma

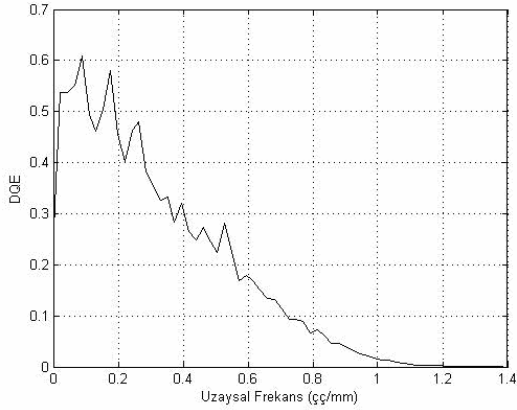
Siemens Bicolor Plus/ T.O.P anjiyo sistemi için görüntü kalitesinin nümerik olarak ölçülmesi, MTF ve NPS'in ölçülmesi ve DQE'nin, MTF ve NPS ölçümlerinden yararlanarak hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Dedeksiyon Kuantum Etkinliği, Modülasyon Transfer Fonksiyonu ile Gürültü Dağılım Spektrumunun aynı uzaysal frekans değerlerinde birleştirilmesiyle denklem 11 den elde edilmiştir. NPS, MTF ve DQE için aşağıdaki grafiklerde verilen sonuçlar ile benzer sistem için (Peterzol vd., 2005) çalışmasındaki bulunan sonuçlar yaklaşık olarak uyum içerisindedir. Peterzol vd, (2005) de, 0.5 uzaysal frekansındaki MTF 0.7 iken, bu çalışmada yaklaşık 0.6 civarındadır. Benzer şekilde NPS için aynı uzaysal frekans için bu çalışmada bulunan değer yaklaşık  $10^{-4}$  değerindedir ve Peterzol vd, (2005) de bulunan sonuç ile son derece uyum içindedir. Görüntü kalitesini toplu şekilde ifade eden DQE sonuçlarına bakıldığında ise yine aynı uzaysal frekansta bu çalışmada bulunan değer 0.25 olup Peterzol vd, (2005) çalışmasında bulunan (0.20) değere yakındır. Bunun sebebi ölçümde kullanılan x-ışın demet kalitesi, görüntü güçlendirici büyütme modunun ve giriş dozunun birebir aynı olmamasından kaynaklanmaktadır. MTF ve NPS hesabında kullanılan deneysel geometri, algoritma ve uyum (fit) fonksiyonundaki farklılıklar da bulunan sonucun farklı olmasında rol oynamaktadır.



Şekil 6. Anjiyo sisteminin 23 cm görüntü güçlendirici çapında ölçülen MTF.



Şekil 7. Anjiyo sisteminin 23 cm görüntü güçlendirici çapında ve 0.49 µGy/görüntü dozunda ölçülen NPS.



Şekil 8. Anjiyo sisteminin 23 cm görüntü güçlendirici çapında ve 0.49 µGy/görüntü dozunda ölçülen DQE.

## Kaynaklar

- Bath, M. 2003. Imaging Properties of Digital Radiographic Systems. Vasastadens Bokbinderi AB, Göteborg, 94p. Sweden.
- Buhr, E., Günther-Kohfahl, S., Neitzel, U. 2003. Accuracy of A Simple Method for Deriving the Presampled Modulation Transfer Function of A Digital Radiographic System from An Edge Image. Med. Phys., 30,2323-2331.
- Dobbins III, J. T., Ergun, D.L., Rutz, L., Hinshaw, D.A., Blume, H., C.Clark, D. 1995. DQE (f) of Four Generations of Computed Radiography Acquisition Devices. Med. Phys., 22,1581-1593.

Flynn, M.J., Samei, E. 1999. Experimental Comparison of Noise and Resolution for 2k and 4k Storage Phosphor Radiography Systems. Med. Phys., 26,1612-1623.

Fujita, H., Doi, K., Giger, M.L. 1985. Investigation of Basic Imaging Properties in Digital Radiography. 6. MTFs of II-TV Digital Imaging System. Med. Phys., 12,713-720.

Fujita, H., Tsai, D.Y., Takumi, I., Kunio, D., Morishita, J., Ueda, K., Ohtsuka, A. 1992. A Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography. IEEE Transactions On Medical Imaging, 11, 34-39.

Giger, M. L., Doi, K., Fujita, H. 1986. Investigation of Basic Imaging Properties in Digital Radiography. 7. Noise Wiener Spectra of II-TV Digital Imaging Systems. Med. Phys., 13,131-138.

Greer, P.B., van Doorn, T. 2000. Evaluation of An Algorithm for the Assessment of the MTF Using An Edge Method. Med. Phys., 27,2048-2059.

International Electrotechnical Commission. Medical electrical equipment-Characteristics of digital imaging devices-Part 1: Determination of the detective quantum efficiency. IEC 62220-1 (Geneva:IEC) (2003)

Marsh, D.M., Cooney, P., McMahon, B.P., Malone, J.F. 1995. Measurement of Wiener Spectra in Digital Systems. Radiat. Prot. Dosim., 57, 273-276.

Maryellen, L. G., Hiroshi, F., Kunio, D., Heang-Ping C. 1986. Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 5. Characteristic curves of TV-II digital systems. Med. Phys., 13, 13-18.

Peterzol, A., Padovani, R., Quai, E., Vano, E., Prieto, C., Aviles, P. 2005. The application of image quality measurements for digital angiography. Radiat Prot. Dosim., 117(1-3), 38-43.

Samei, E., Flynn, M.J. 1998. A Method for Measuring the Presampled MTF of Digital Radiographic Systems Using An Edge Test Device. Med. Phys., 25,102-113.

Williams, M.B., Mangiafico, P.A., Simoni, P.U. 1999. Noise Power Spectra of Images from Digital Mammography Detectors. Med. Phys., 26,1279-1293.