



SPECT SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜ KALİTESİ ÖLÇÜMLERİ

Çiğdem DUMAN

XI. Ulusal Medikal Fizik Kongresi

Çalışmanın Amacı ;

- *Ayırma gücü ve gürültüyü*
 1. *Görsel olarak*
 2. *Nümerik olarak değerlendirmek*
(konum ve frekans ortamında)
- *Sistem performansını değerlendirmek*
(frekans uzayında)

Görüntü Kalitesini Etkileyen Nedenler

Fiziksel nedenler

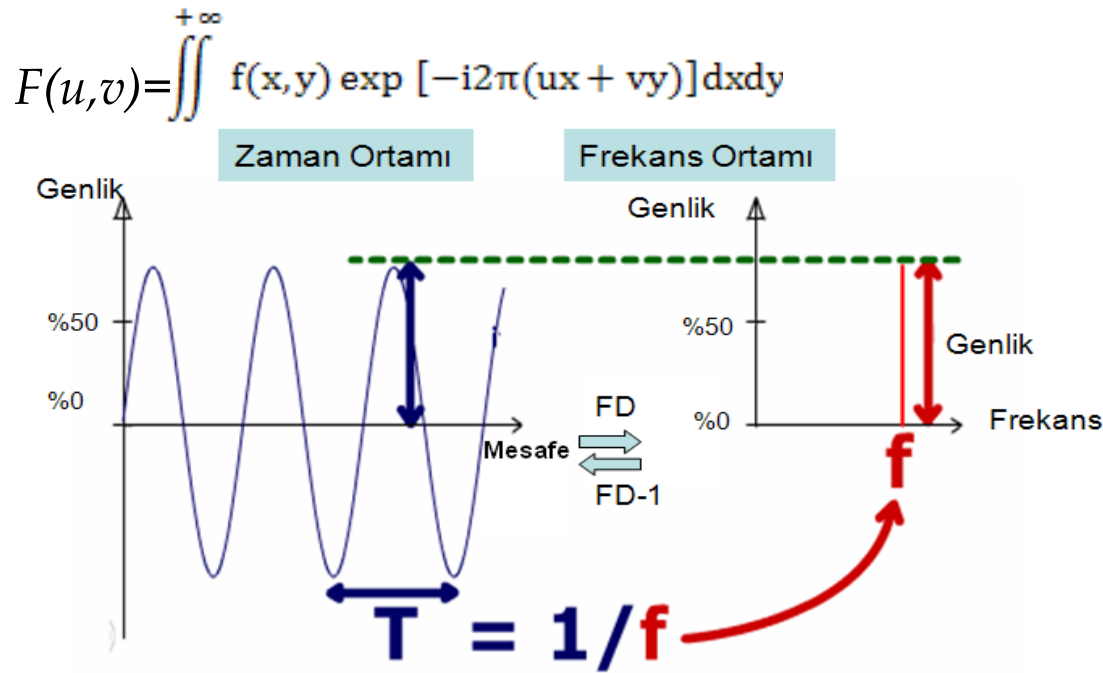
*Tasarımdan kaynaklı
nedenler*

*Görüntünün toplanması
sırasındaki parametreler*

*Görüntünün işlenmesi
sırasındaki parametreler*

Frekans uzayında değerlendirme

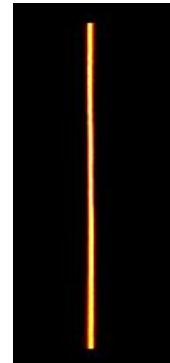
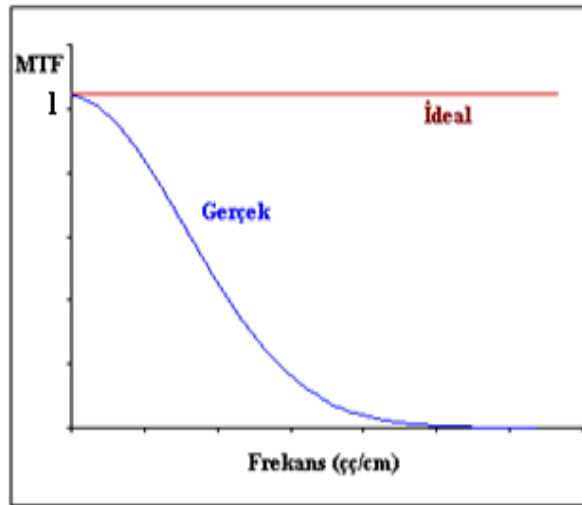
- Görüntü eldesinde bilgi uzaysal ortamdan frekans uzayına çevrilir. Bu çevirim, farklı frekans ve fazların sine ve kosine fonksiyonlarının toplamı ile gösterilen herhangi bir matematiksel fonksiyonuna dayanmaktadır.
- Ayrıca genliğin mesafeye bağlı değişimi uzaysal ortamda, genliğin frekansa bağlı değişimi frekans uzayında gösterilir.



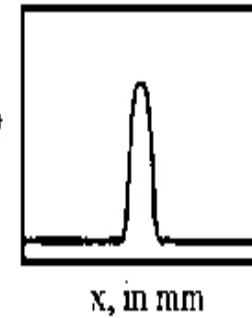
- Böylece, alınan görüntü uzaysal ortamda her noktadaki sayım olarak ve frekans uzayında her frekanstaki fazlar ve genlikler olarak gösterilir.

1. Modülasyon transfer fonksiyonu

- Her bir frekansta sisteme verilen sinyalin, sistem çıkışındaki genliğinin girişindeki genliğine oranıdır.



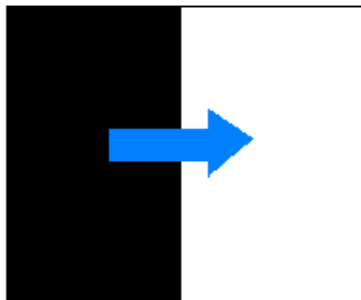
LSF(X)



$$lsf(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} psf(x,y) dy$$

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

$$MTF(x) = FFT\{lsf(x)\}$$



ERF



frekans (çç/mm)

$$lsf(x) = \frac{d(ERF(x))}{dx}$$

$$MTF(x) = \frac{\left| \int \frac{d}{dx} ERF(x) e^{-2i\pi f_x x} dx \right|}{\left| \int \frac{d}{dx} ERF(x) dx \right|}$$

2. Gürültü dağılım spektrumu

- Gürültü dağılım spektrumu gürültünün frekansa bağlı olarak genlik değişimidir ve Wiener Spektrumu olarak da adlandırılır.
- Alınan homojen bir görüntü, küçük ilgili alanlara bölünerek sayısallaştırılır ve her bölgenin gürültü dağılım spektrumu frekans uzayında hesaplanır.

$$\text{NNPS}(f_x, f_y) = \frac{1}{M} \frac{\langle |\text{FT}\{\delta_s(x_i, y_j)\}|^2 \rangle}{N_x N_y} \Delta_x \Delta_y$$

$$\delta_s = \frac{\Delta_s(i, j)}{\bar{I}_s} \quad \Delta_s(x_i, y_j) = [I(x_i, y_j) - S(x_i, y_j)]$$

- Elde edilen iki boyutlu gürültü dağılım spektrumunun doğruluğunu saptamak için NNPS'in integralinin toplam varyansa eşit olup olmadığına bakılır

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{N^2} \sum \sum \frac{|\text{FT}(\delta_s)|^2}{N^2} \Delta_x \Delta_y$$

3. Deteksiyon kuantum etkinliği

- Deteksiyon kuantum etkinliği sistem performansını bir bütün olarak ifade eder.
- Deteksiyon kuantum etkinliği, giriş ve çıkıştaki sinyal gürültü oranlarının karelerinin karşılaştırılmaları ile elde edilir.

$$DQE = \frac{SNR_{out}^2}{SNR_{in}^2}$$

Ayrıca;

$$DQE = \frac{MTF(x,y)^2}{NNPS(x,y)N}$$

$$NNPS = \frac{p}{\bar{x}}$$

$$N = \frac{N_0 \times t \times 0,89}{A}$$

şeklinde de ifade edilebilir.

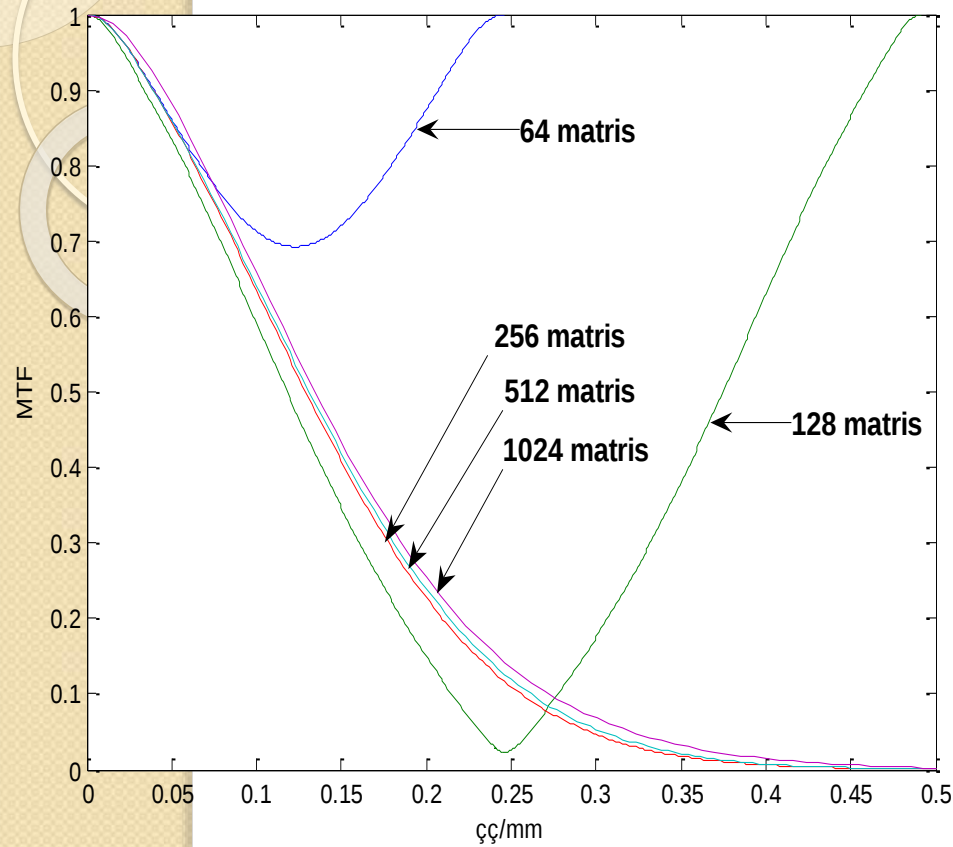
Ayırma Gücünün Nümerik Değerlendirilmesi

• Planar Çalışmalar

- Farklı matris boyutlarında kolimatörlü- kolimatörsüz ayırma gücü ölçümü (64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024)
- Farklı mesafelerde kolimatörlü ayırma gücü ölçümü (5cm, 10cm, 15cm, 20cm)
- Farklı saçıcı kalınlıklarında kolimatörlü ayırma gücü ölçümü (5cm, 10cm, 15cm)
- SPECT geometrisinde saçıcı varken ve yokken dönme çapının ayırma gücüne etkisi (22.8cm, 26.8 cm, 30.8 cm)

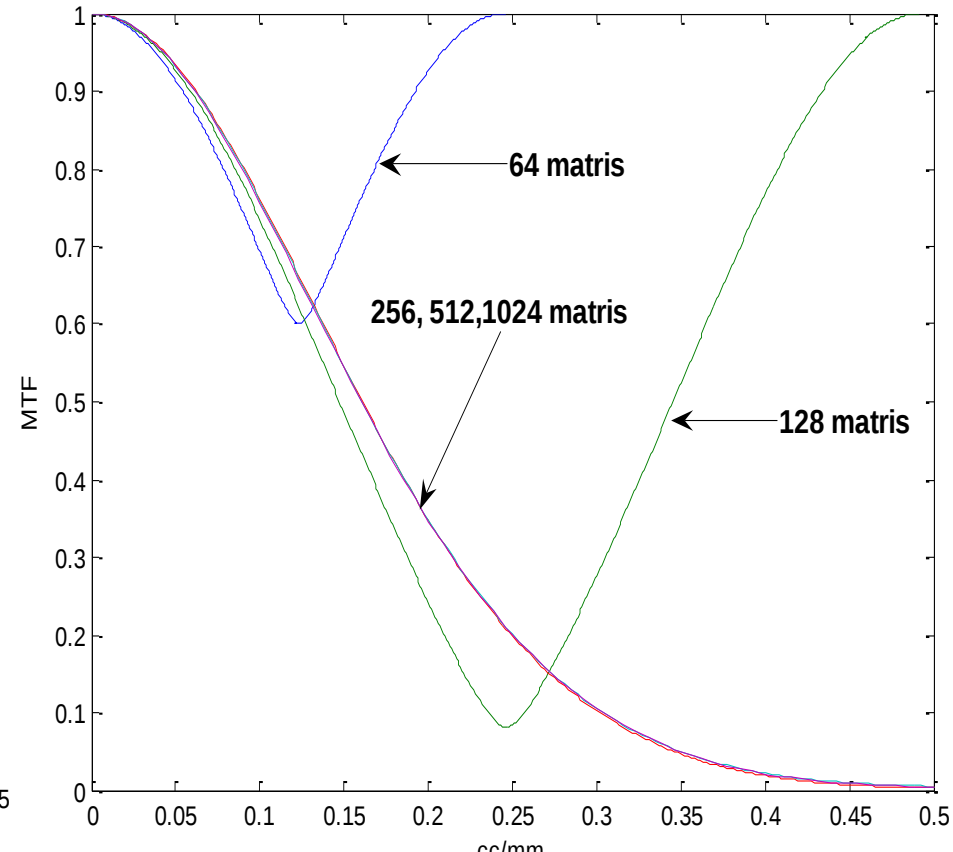
• Tomografik çalışmalar

- Saçıcı ortam varken ve yokken dönme çapının ayırma gücüne etkisi
- Farklı filtrelerin ayırma gücüne etkisi (yokuş, hanning, butterworth)



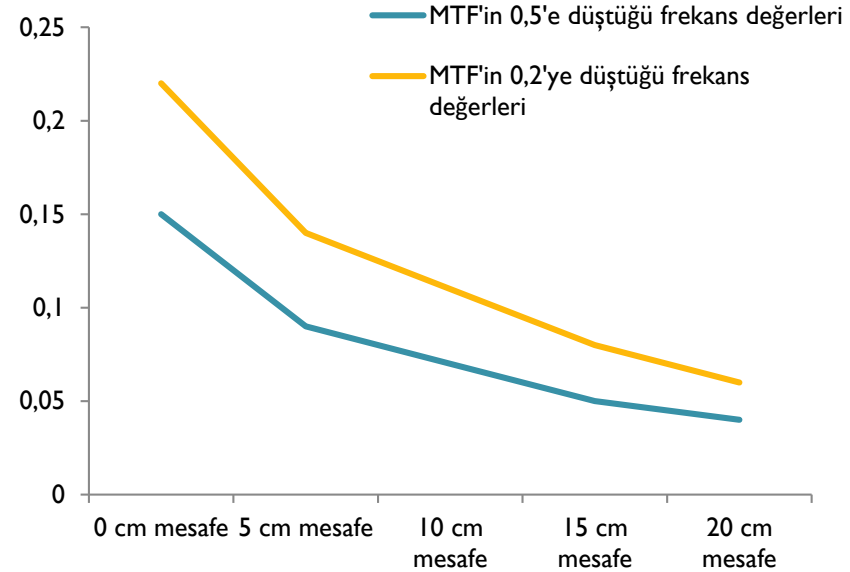
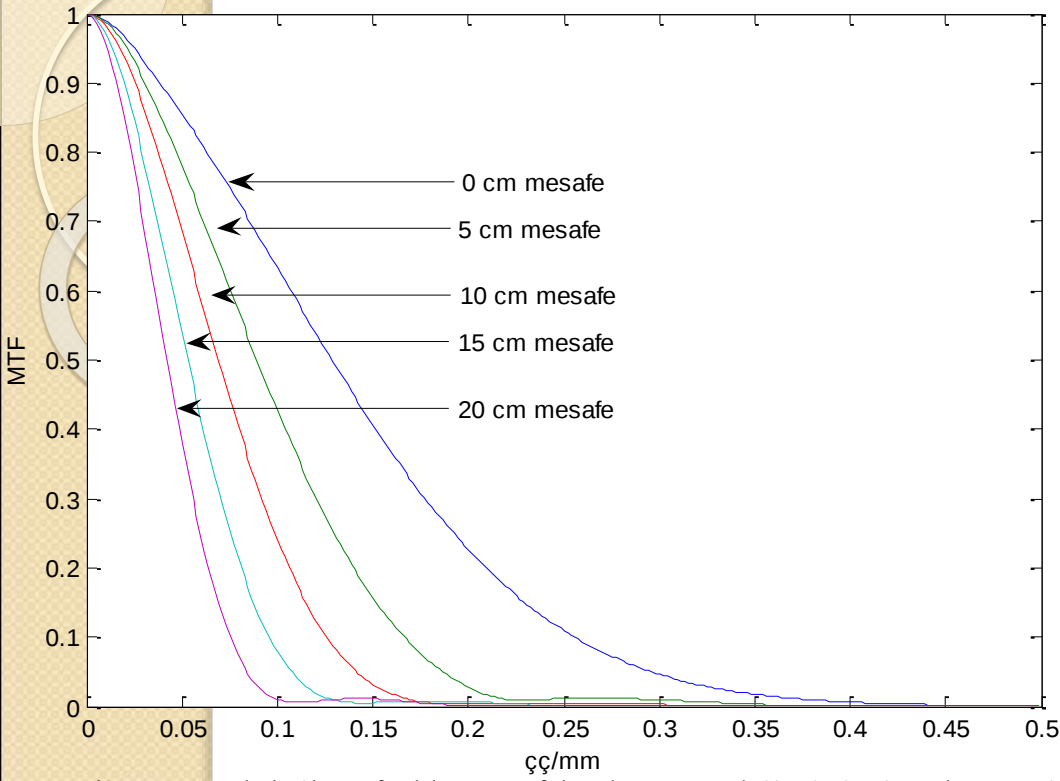
Farklı matrislerde kolimatörlü MTF değerinin incelenmesi

	YYTG	OYTG
64x64	4,50	8,10
128x128	4,34	7,88
256x256	3,31	6,50
512x512	3,12	6,08
1024x1024	3,1	6,06



Farklı matrislerde kolimatörsüz MTF değerinin incelenmesi

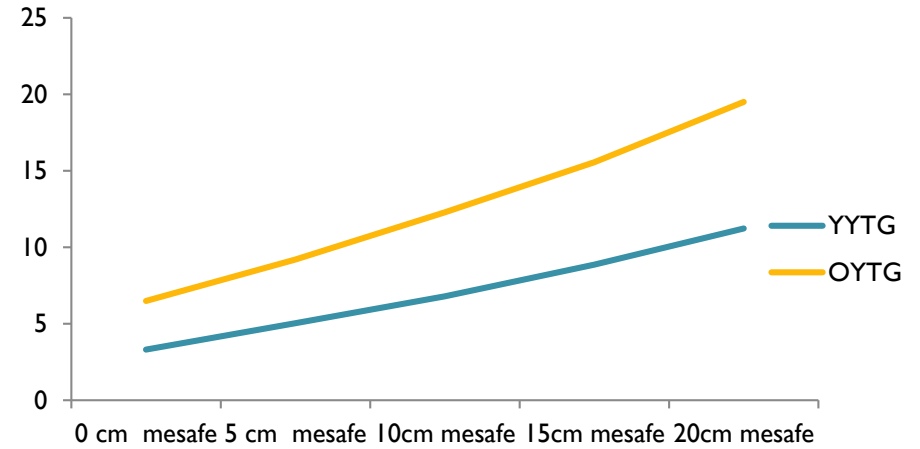
	YYTG	OYTG
64x64	6,43	-----
128x128	4,10	8,40
256x256	3,30	6,52
512x512	3,12	6,11
1024x1024	3,1	6,03



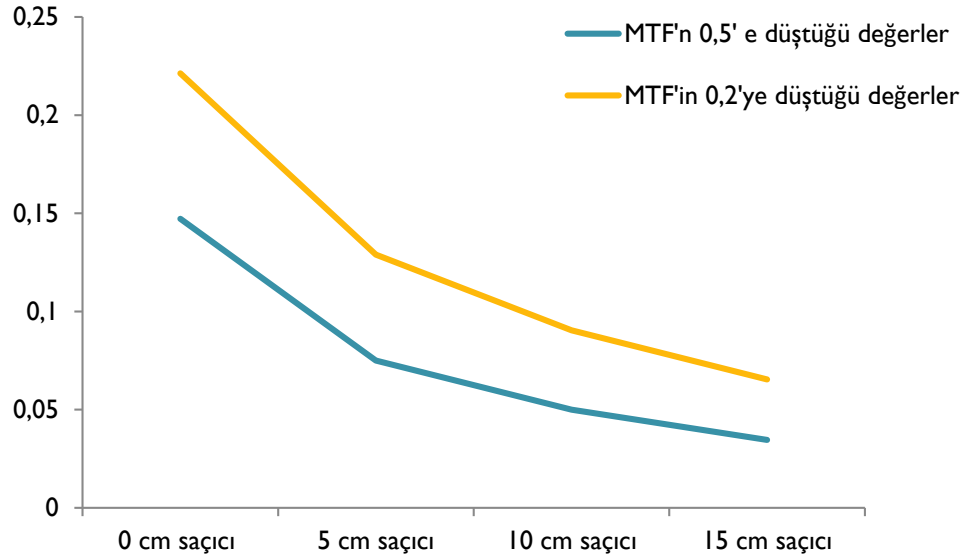
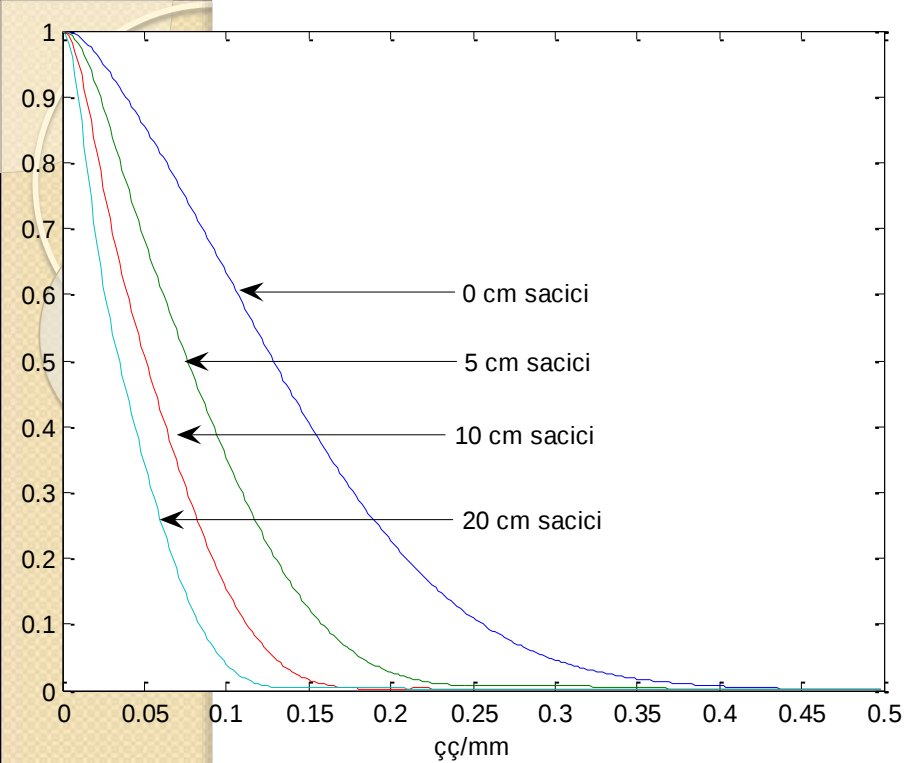
Farklı mesafelerde MTF'in 0,5'e ve 0,2'ye düştüğü frekans değerleri

Kolimatör takılı iken farklı mesafelerde MTF değerinin incelenmesi

	YYTG	OYTG
0 cm mesafe	3,31	6,49
5cm mesafe	5,03	9,11
10cm mesafe	6,8	12,29
15cm mesafe	8,87	15,56
20cm mesafe	11,23	19,5



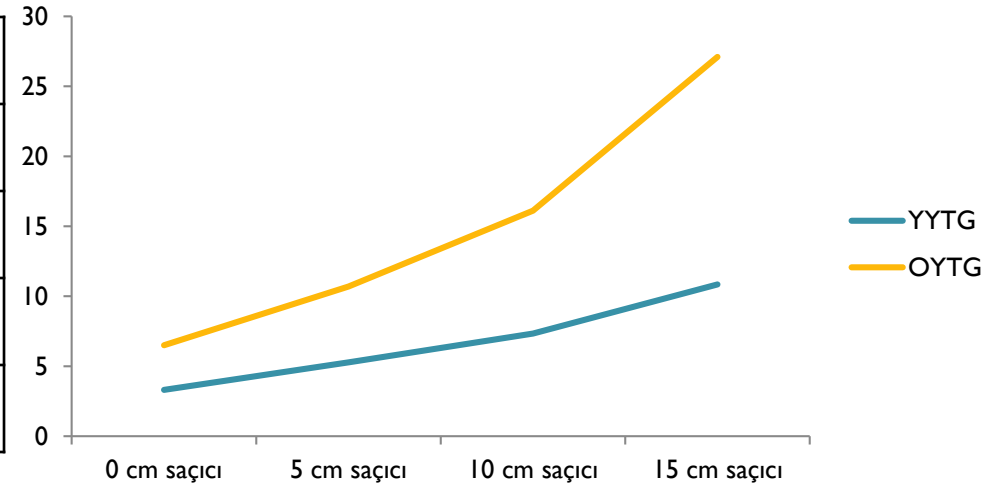
Farklı mesafelerde YYTG ve OYTG değerleri



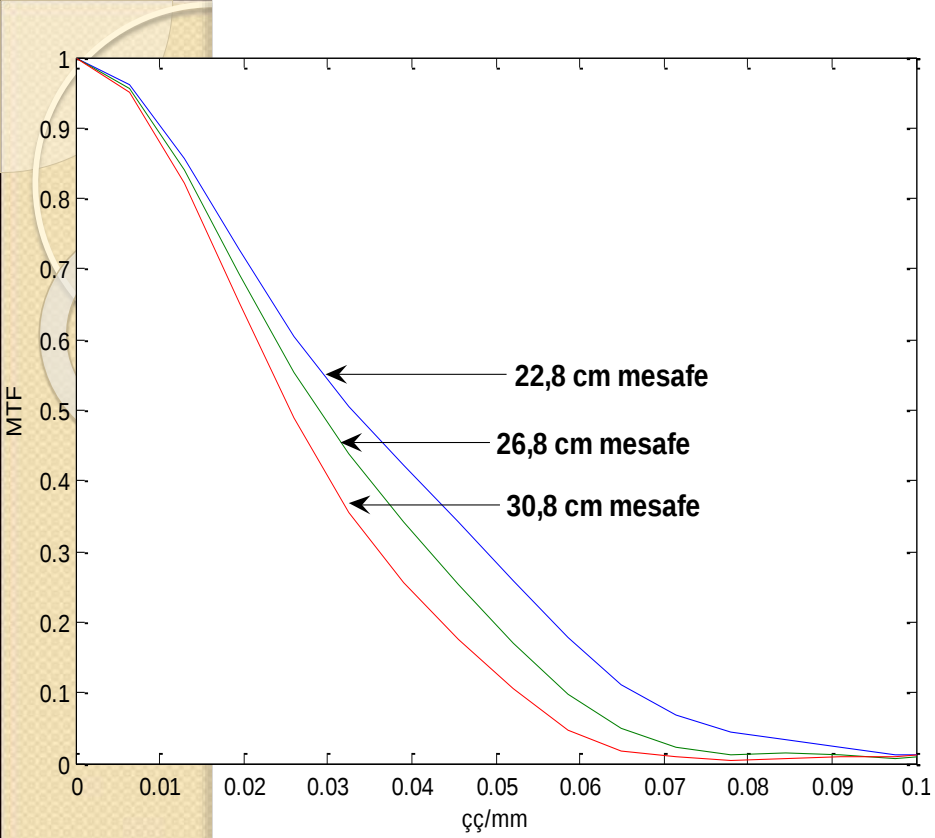
Kolimatör takılı iken farklı saçıcı kalınlıklarında MTF değerinin incelenmesi

Farklı saçıcı kalınlıklarında MTF'in 0,5'e ve 0,2' ye düştüğü frekans değerleri

	YYTG	OYTG
0 cm sacici	3,31	6,49
5cm sacici	5,27	10,7
10cm sacici	7,43	16,12
15cm sacici	10,85	27,09



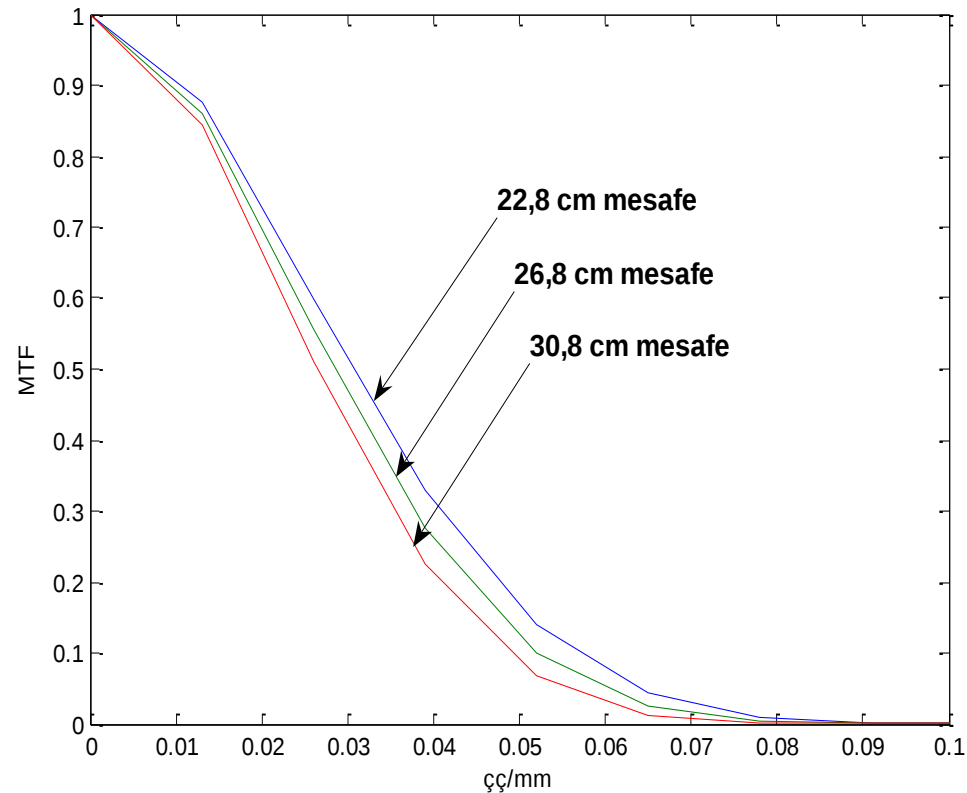
Farklı saçıcı kalınlıklarında YYTG ve OYTG değerleri



*SPECT geometrisinde farklı dönme çaplarında saçıcı yokken **planar** olarak alınan görüntülerin MTF'leri*

TOMOGRAFİK	MTF in 0,5 e düştüğü frekans	MTF in 0,2 ye düştüğü frekans
22,8 cm mesafe	0.035	0.043
26,8 cm mesafe	0.032	0.038
30,8 cm mesafe	0.028	0.036
PLANAR		
22,8 cm mesafe	0.040	0.057
26,8 cm mesafe	0.038	0.052
30,8 cm mesafe	0.036	0.044

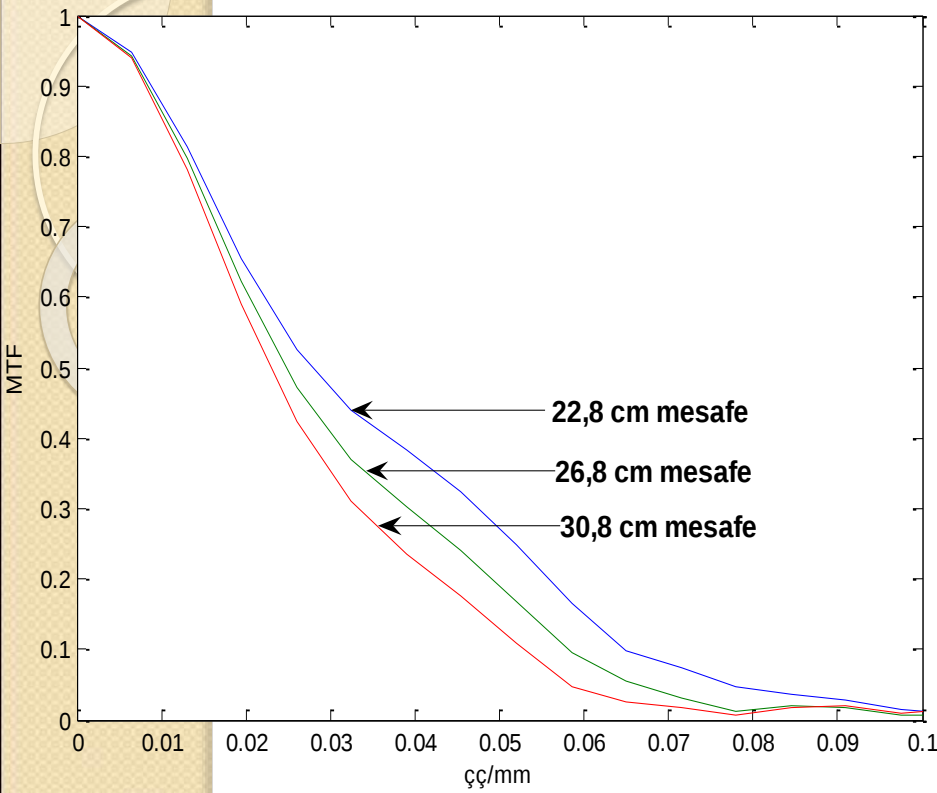
Farklı dönme çaplarında saçıcı yokken tomografik ve planar çalışmalarda MTF'in 0.5 ve 0.2'ye düştüğü frekans değerleri



*Saçıcı yokken sadece yokuş filtre uygulanmış **tomografik** kesitlerde dönme çapının MTF' e etkisi*

Tomografik görüntüler	YYTG	OYTG
22,8 cm mesafe	15,34	28,40
26,8 cm mesafe	17	30,8
30,8 cm mesafe	18,34	33,6
Planar görüntüler		
22,8 cm mesafe	12,61	21,60
26,8 cm mesafe	15	24,83
30,8 cm mesade	15,08	27,74

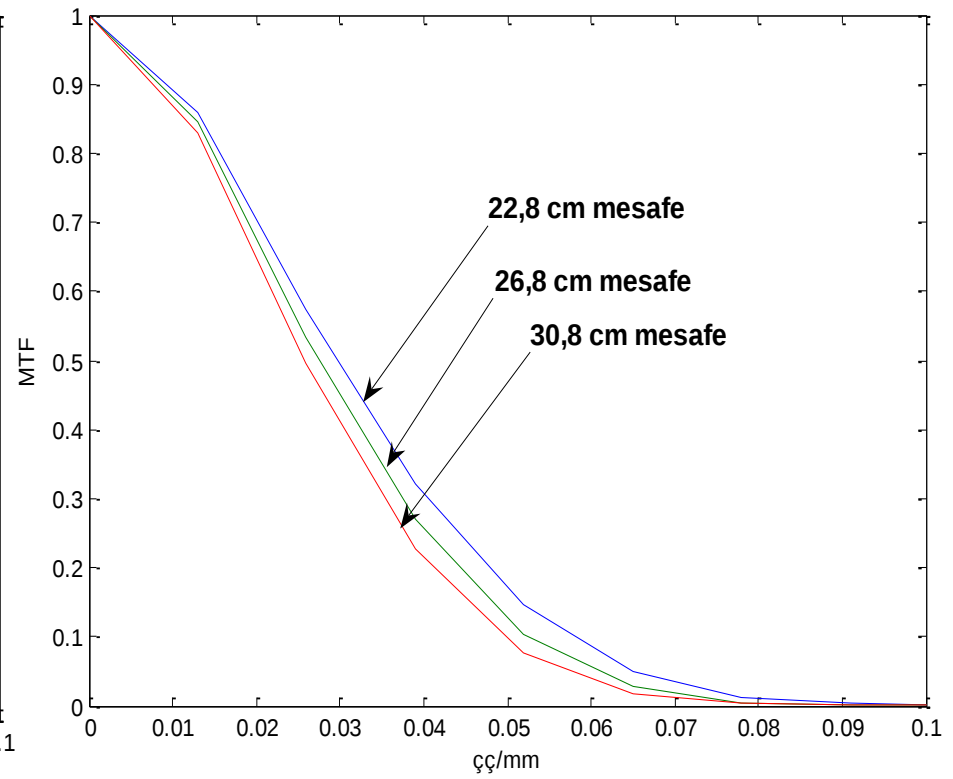
Farklı dönme çaplarında tomografik ve planar görüntülerde YYTG ve OYTG değerleri



SPECT cihazından farklı mesafelerde saçıcı varken planar olarak alınan görüntülerin MTF' leri

TOMOGRAFİK	MTF in 0,5 e düştüğü frekans	MTF in 0,2 ye düştüğü frekans
22,8 cm mesafe	0.037	0.049
26,8 cm mesafe	0.035	0.046
30,8 cm mesafe	0.026	0.043
PLANAR		
22,8 cm mesafe	0.051	0.059
26,8 cm mesafe	0.048	0.05
30,8 cm mesafe	0.044	0.045

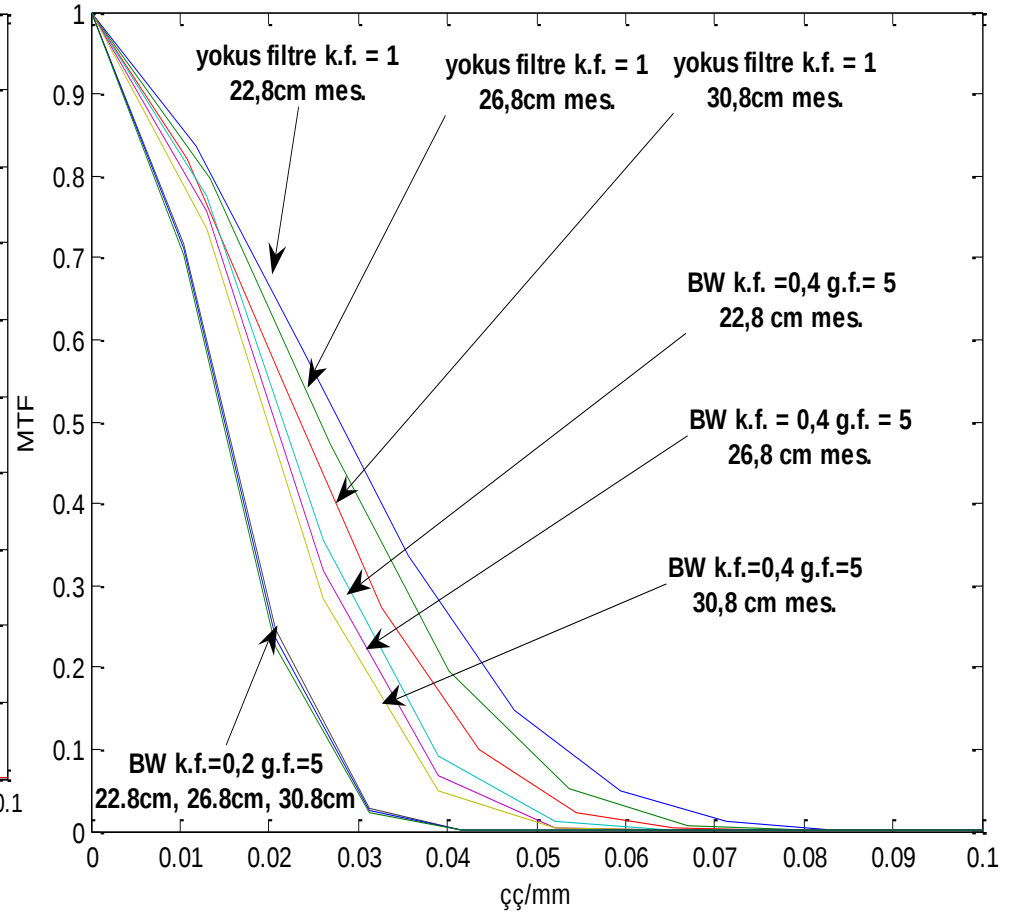
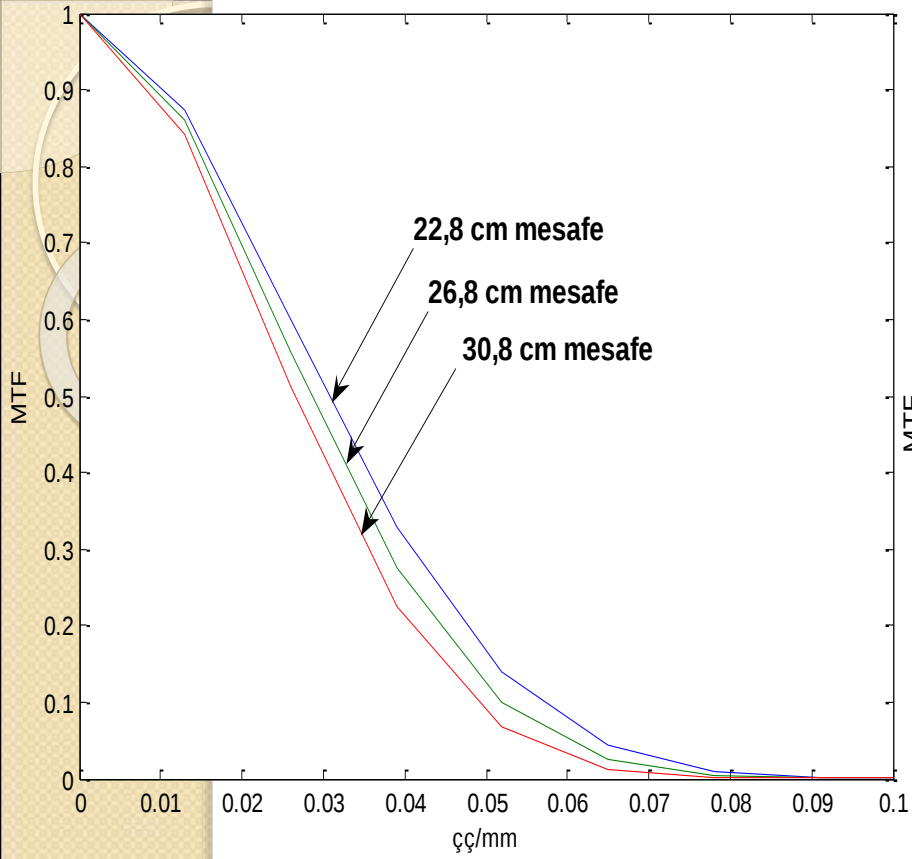
Farklı dönme çaplarında saçıcı varken tomografik ve planar çalışmalarda MTF'in 0.5 ve 0.2'ye düştüğü frekans değerleri



Saçıcı varken mesafenin tomografik çalışmalarda MTF'e etkisi

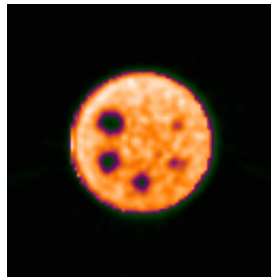
Tomografik görüntüler	YYTG	OYTG
22,8 cm mesafe	15,5	29,7
26,8 cm mesafe	17	32,3
30,8 cm mesafe	18,5	36,8
Planar görüntüler		
22,8 cm mesafe	14,14	25,8
26,8 cm mesafe	16	29
30,8 cm mesafe	17,7	32,14

Saçıcı varken tomografik çalışmalarda dönme mesafesinin YYTG ve OYTG değerlerine etkisi

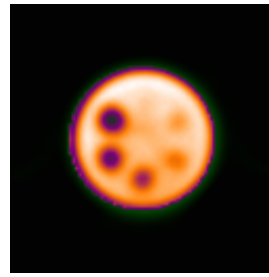


Farklı dönme çaplarında kesim frekansı 1 olan yokuş filtreli kesit görüntülerinin MTF değerleri

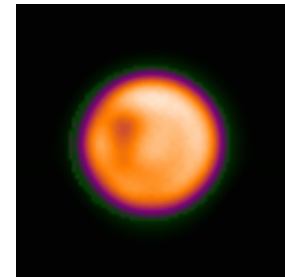
Farklı dönme çaplarında kesim frekansı 1 olan yokuş filtre, aynı güç faktörlerinde (5) ve farklı kesim frekanslarındaki (0.2,0.4) butterworth (BW) filtreli kesit görüntülerinin MTF değerleri



Yokuş filtre k.f. = 1



Butterworth filtre
k.f. = 0,4 g.f. = 5



Butterworth filtre
k.f. = 0,2 g.f. = 5

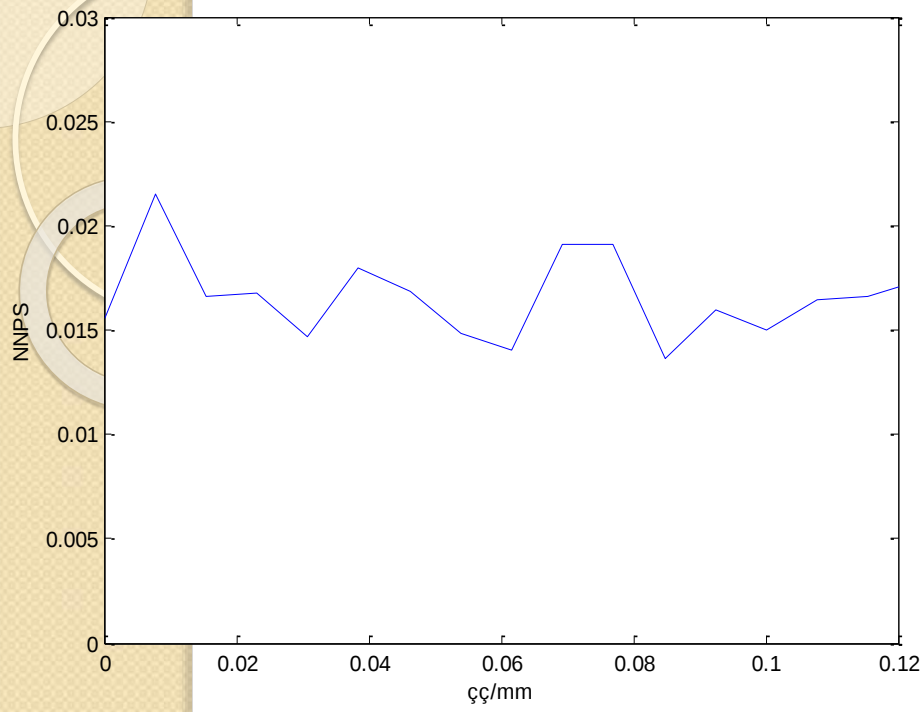
Gürültünün nümerik olarak değerlendirilmesi

- *Planar çalışmalar*

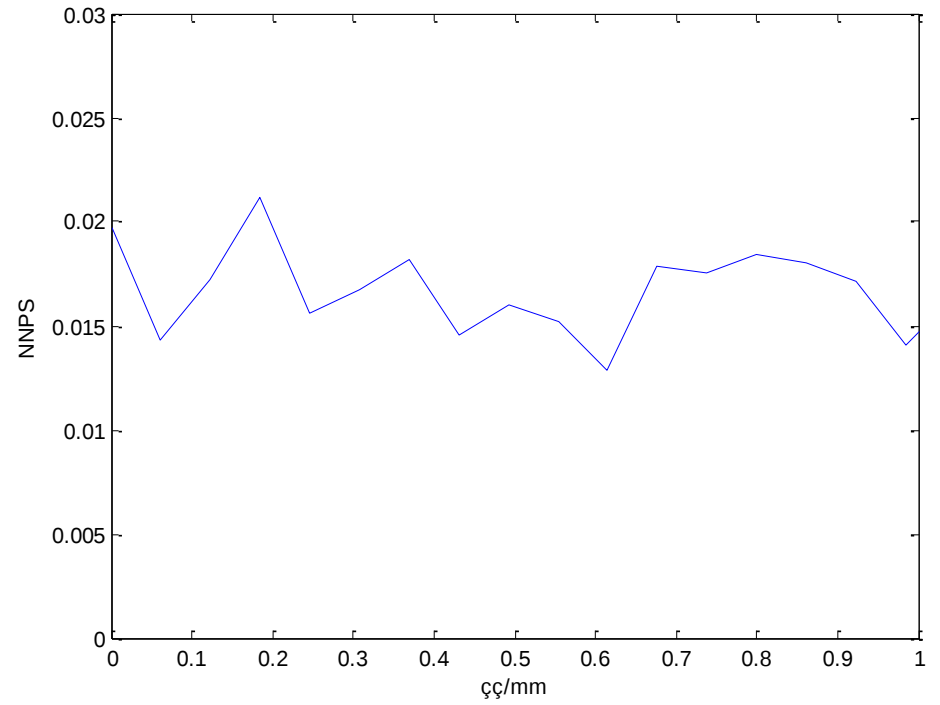
- *Farklı matrislerin NNPS' e etkisi (64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024)*
- *Farklı sayımların NNPS' e etkisi (500k, 1M, 5M, 10M)*
- *Farklı filtre boyutlarının NNPS' e etkisi*

- *Tomografik çalışmalar*

- *Projeksiyon başına toplanan farklı sayımın NNPS' e etkisi (100k, 250k, 500k, 750k, 1M)*
- *Farklı filtrelerin ve kesim frekanslarının NNPS' e etkisi (Yokuş , Hanning, Butterworth filtreler)*



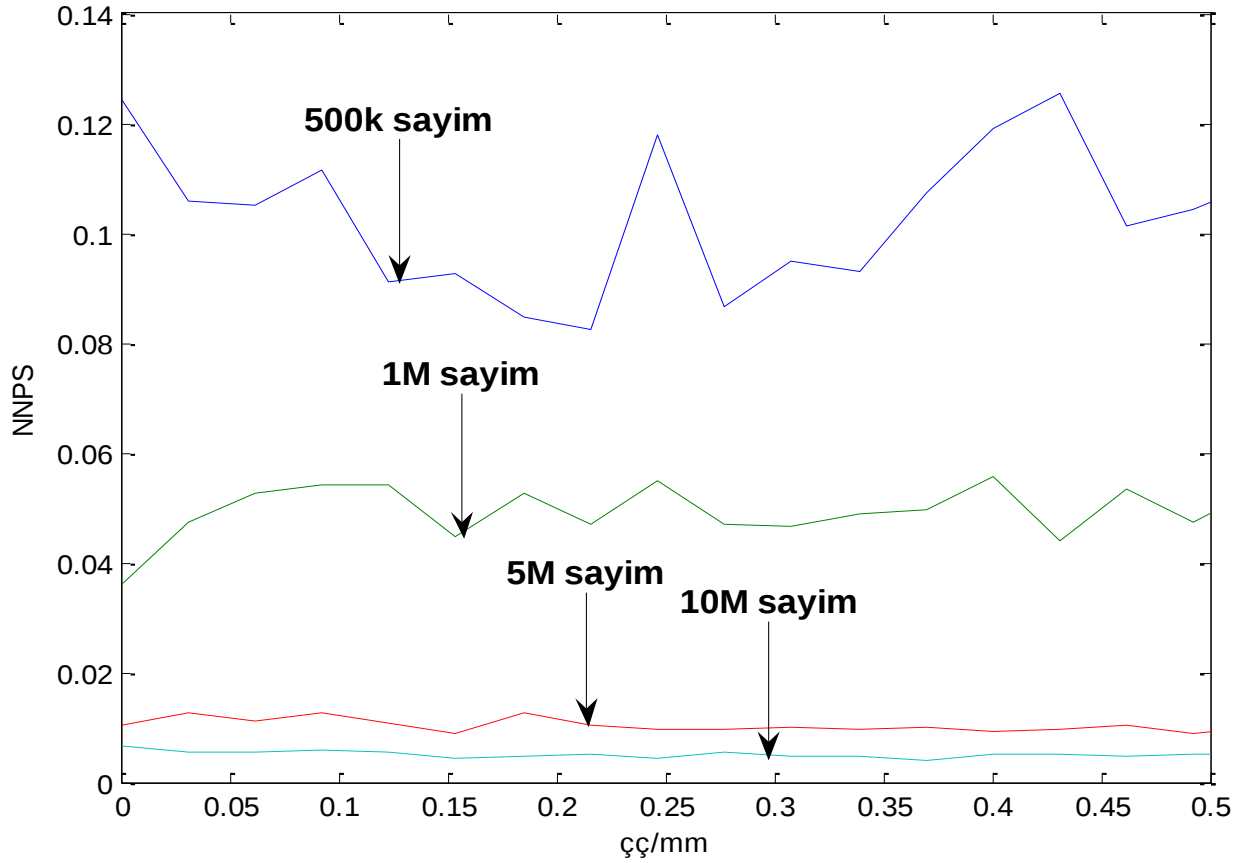
64x64 matriste planar olarak alınan homojenite görüntüsünün NNPS değeri



512x512 matriste planar olarak alınan homojenite görüntüsünün NNPS değeri

MATRİS BOYUTU	VARYANS DEĞERİ
64x64	0.016928
128x128	0.016559
256x256	0.015963
512x512	0.016777
1024x1024	0.019594

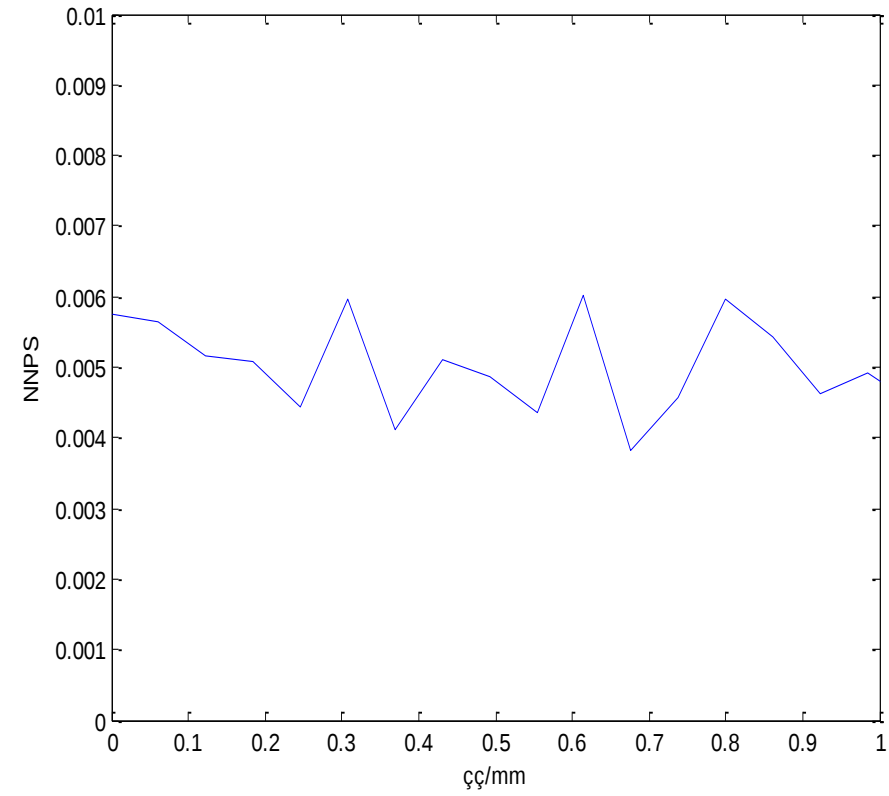
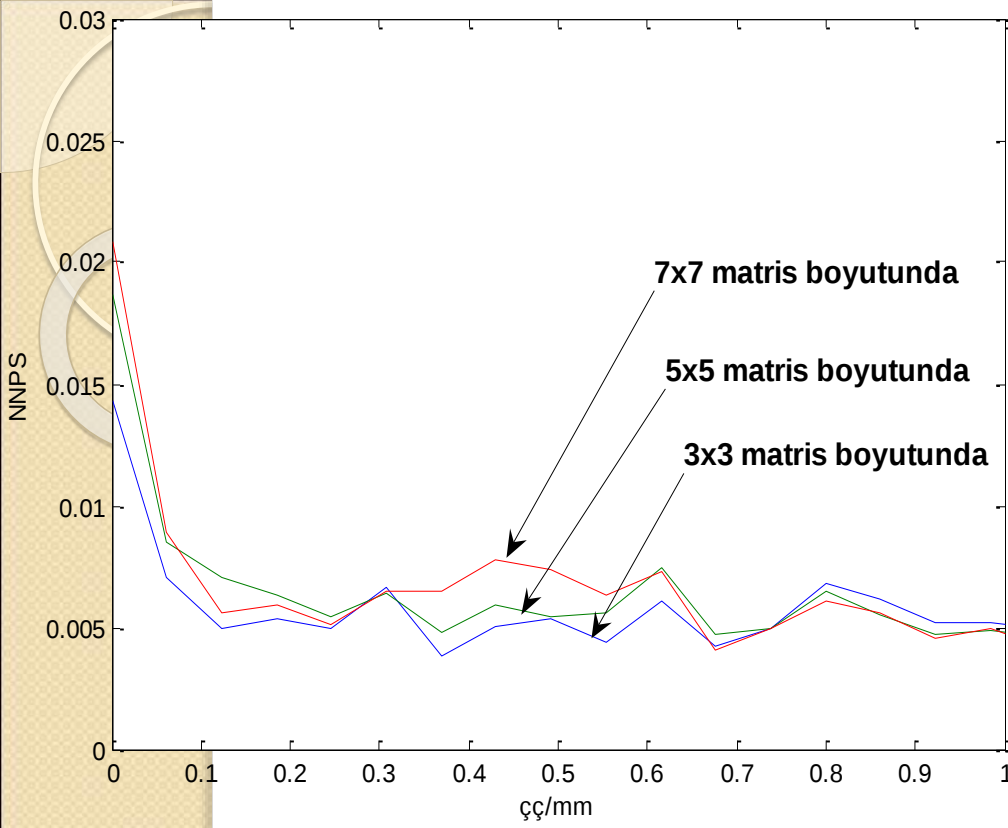
Farklı matris boyutlarında varyans değerlerinin değişimi



256x256 matriste planar olarak farklı sayımlarda alınan homojenite görüntüsünden hesaplanan NNPS değeri

SAYIM MİKTARI	VARYANS DEĞERİ
500k sayım	0,1
1M sayım	0,05
5M sayım	0,01
10M sayım	0,005

farklı sayımlarda alınan homojenite görüntüsünden hesaplanan varyans değerleri

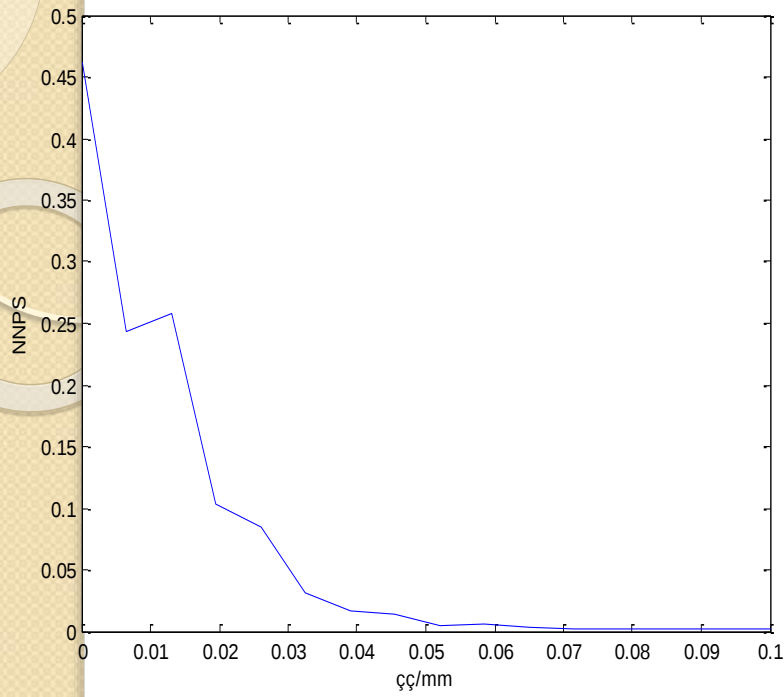


512x512 matristeki homojenite görüntüsüne farklı matris boyutlarında medyan filtrenin uygulanması ile hesaplanan NNPS değeri

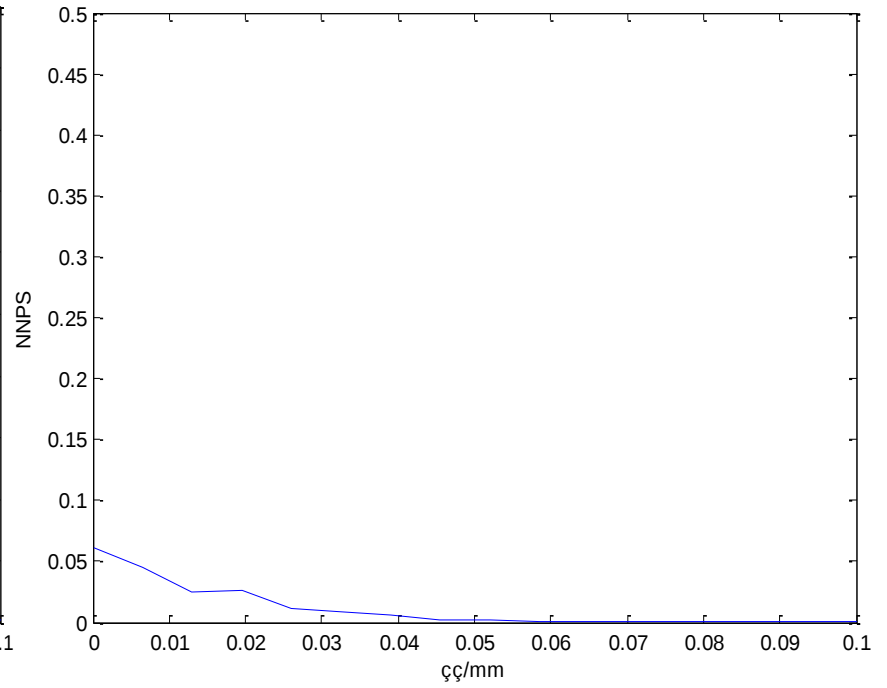
2 piksel komşuluğundaki ortalama filtrenin uygulanması ile hesaplanan NNPS değeri

	3x3 matris	5x5 matris	7x7 matris
VARYANS DEĞERLERİ	0.016	0.017	0.018

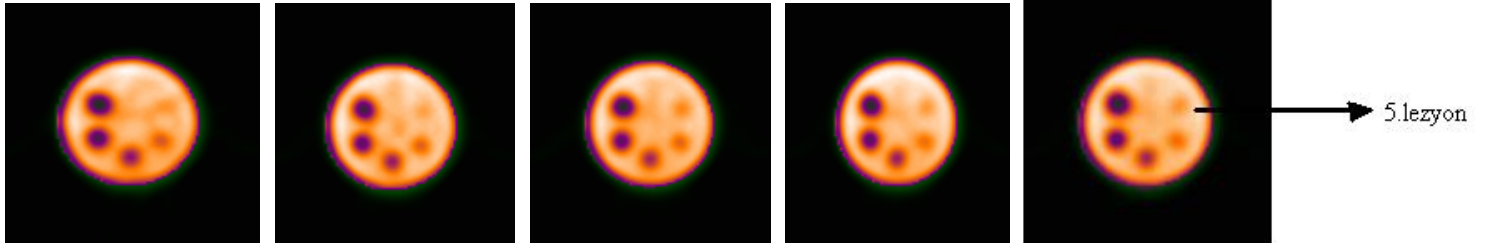
	VARYANS DEĞERLERİ
2 piksel komşuluğunda	0.005
5 piksel komşuluğunda	0.005



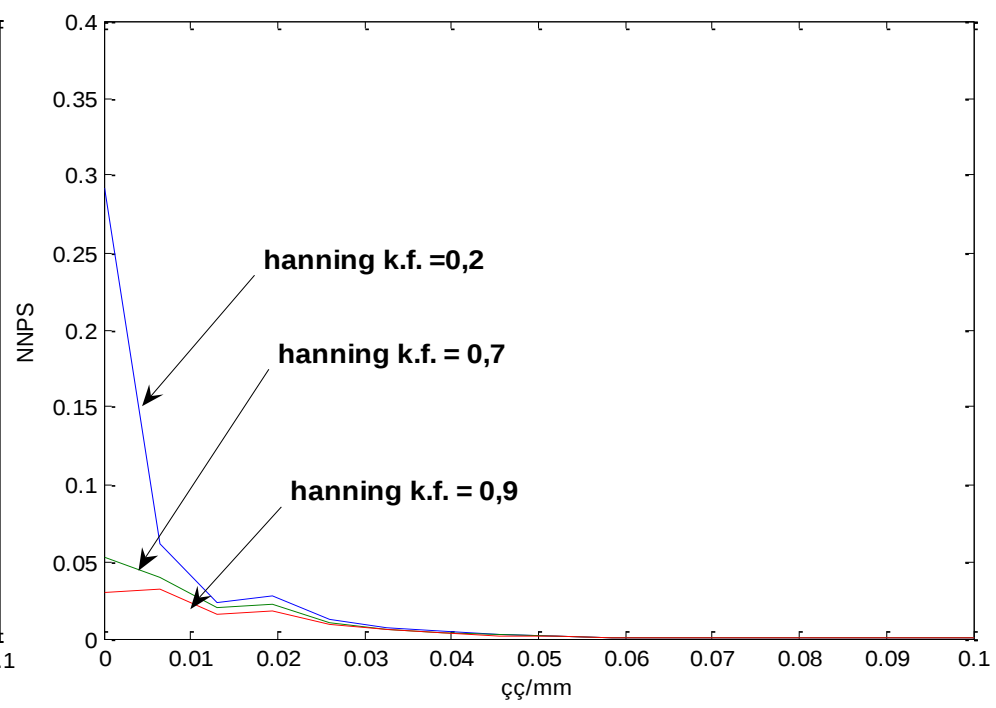
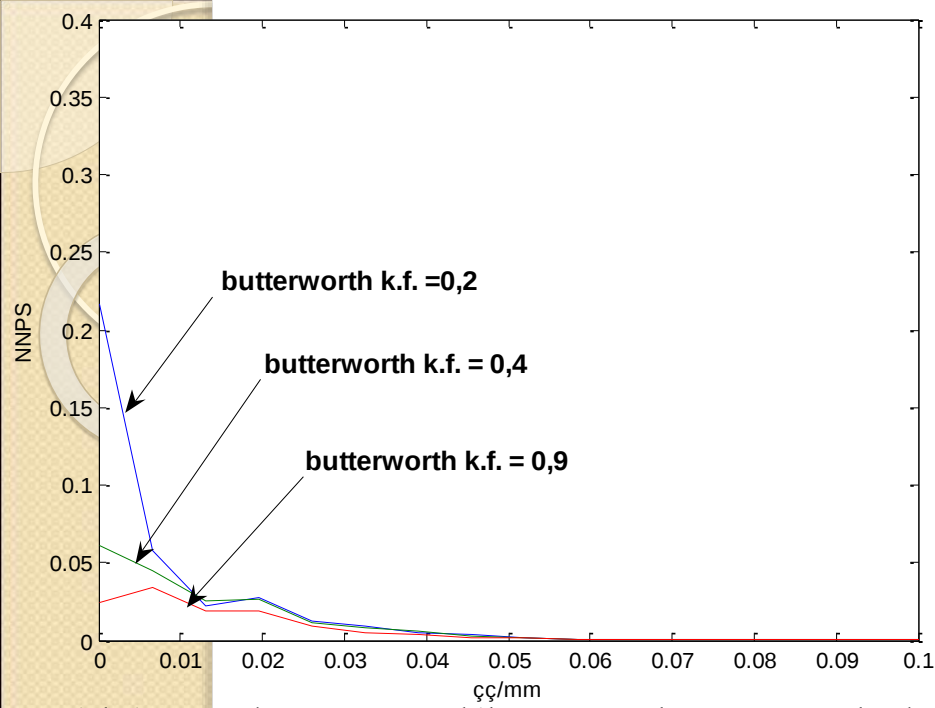
Projeksiyon başına 100kilo sayımda NNPS değeri



Projeksiyon başına 750kilo sayımda NNPS değeri



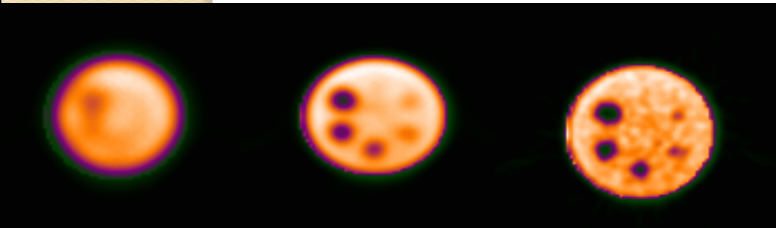
SAYIM MİKTARI	VARYANS DEĞERİ
100k	0.66
250k	0.33
500k	0.22
750k	0.15
1M	0.12

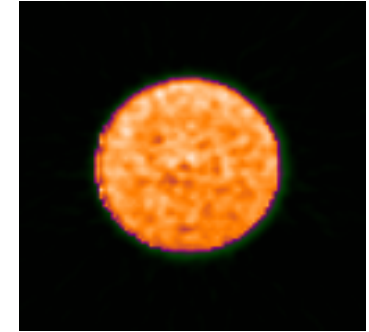
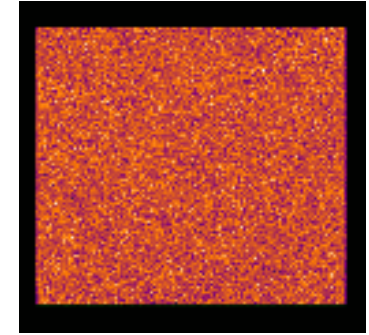
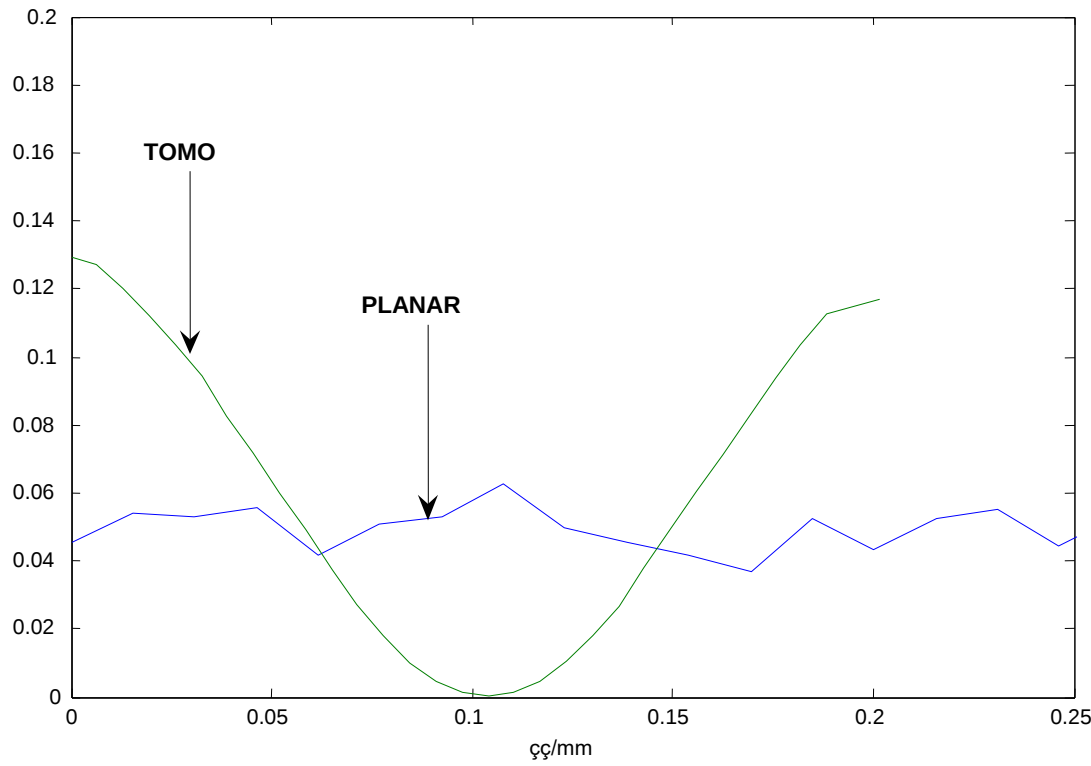


Projeksiyon başına 750kilo sayımlı görüntülerde Butterworth filtrenin farklı kesim frekanslarının NNPS'e etkisi

Projeksiyon başına 750kilo sayımlı görüntülerde Hanning filtrenin farklı kesim frekanslarının NNPS'e etkisi

FİLTRELER VE KESİM FREKANSLARI	VARYANS DEĞERLERİ
Butterworth filtre kesim frekansı = 0,2	1.07
Butterworth filtre kesim frekansı = 0,4	0.15
Butterworth filtre kesim frekansı = 0,9	0.012
Hanning filtre kesim frekansı = 0,2	0.30
Hanning filtre kesim frekansı = 0,7	0.07
Hanning filtre kesim frekansı = 0,9	0.03





Aynı sayımda (100kilo sayım) tomografik ve planar görüntülerin NNPS değerlerinin karşılaştırılması

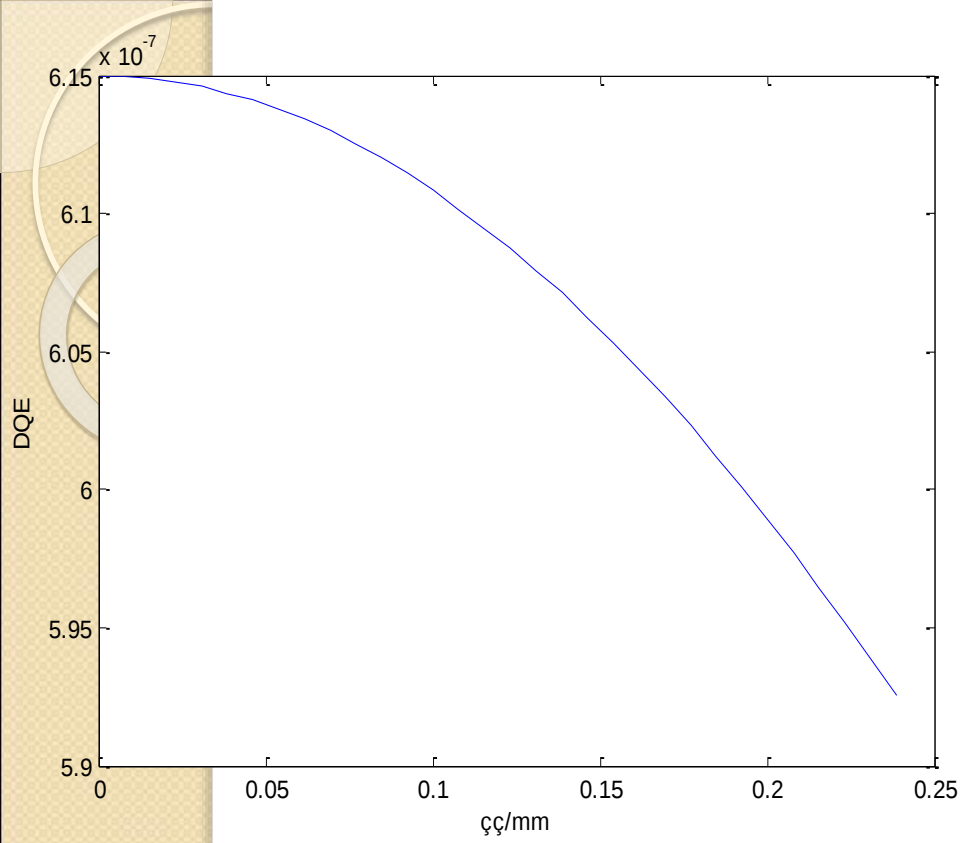
	VARYANS DEĞERLERİ
PLANAR	0.005
TOMOGRAFİK	0.098

Tomografik ve planar görüntülerin varyans değerlerinin karşılaştırılması

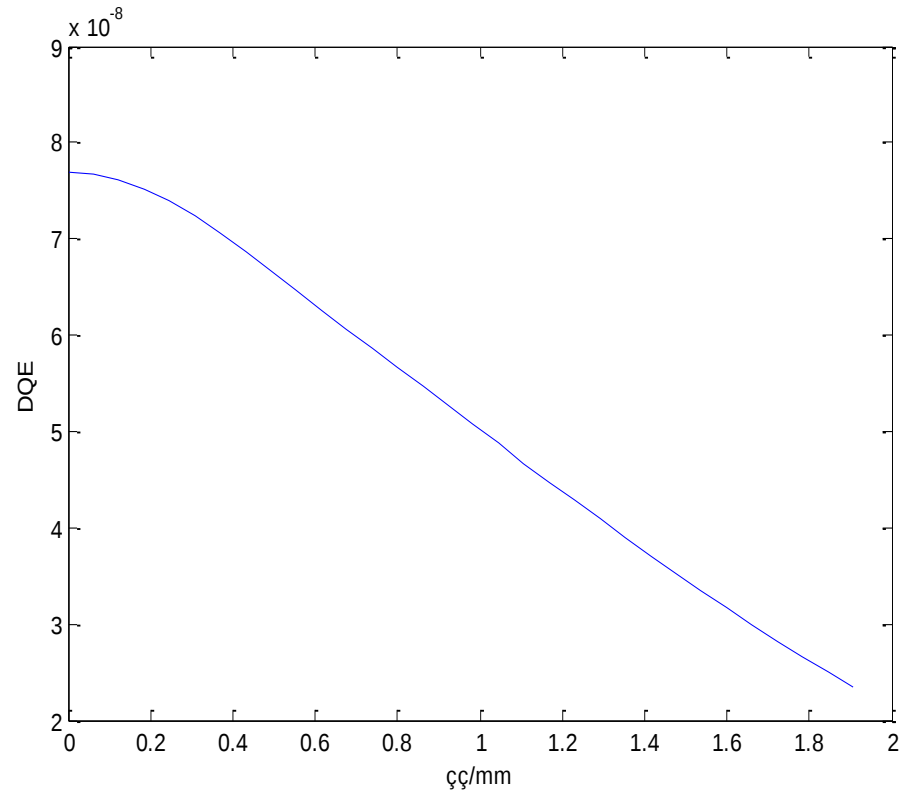
Sistem Performansının Nümerik Değerlendirilmesi

- *Planar Çalışmalar*

- Farklı matris boyutlarında (64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024)*



64x64 matrisli görüntünün DQE grafiği



512x512 matrisli görüntünün DQE grafiği

	0.02 çç/mm	0.2 çç/mm
64x64	6,15E-07	5,99E-07
128x128	3,07E-07	2,95E-07
256x256	1,54E-07	1,49E-07
512x512	7,7E-08	7,52E-08
1024x1024	3,83E-08	3,73E-08

SONUÇLAR

- Konum uzayında 256 ve daha büyük matrislerde kolimatörün ayırma gücüne etkisi gözlenemezken, MTF'de bu fark açıkça görülür.
- Farklı mesafelerdeki MTF' in azalımı, YYTG ve OYTG' nin azalımından daha belirgindir.
- Konum uzayında saçıcı OYTG değerini YYTG' ye göre daha fazla etkiler.
- Tomografik görüntülerdeki ayırma gücü planar görüntülerdekinden daha düşüktür.
- Planar çalışmalarda mesafe etkisi daha belirgindir.

- Planar ve tomografik görüntüleri kıyaslandığında YYTG ve OYTG değerleri fazla değişmez. Bu nedenle ayırma gücünün kıyaslanmasında MTF daha üstündür.
- Saçıcının etkisi hasta detektör mesafesi minimum iken etkindir.
- SPECT geometrisinde alınan planar görüntünün ayırma gücü ile tomografik görüntünün ayırma gücü arasındaki fark %10 içerisinde.
- Yokuş filtreli kesit görüntüsünde ayırma gücü daha yüksek ve mesafe etkisi daha belirgindir. Filtre kullanımı ile ve filtrenin kesim frekansının azalması ile ayırma gücü bozulur ve mesafe etkisi azalır.

- Görüntünün filtre edilmesinde her bir piksele etkileyen komşu piksel sayısının artması, NNPS' de gürültünün korelasyonu olarak ortaya çıkar. Gürültü korelasyonu lezyon deteksiyonunu olumsuz etkiler bu nedenle filtre seçimine dikkat edilmelidir.
- Filtre kullanımında sayısal değerlendirmenin yanında görsel değerlendirme de yapılmalıdır.
- Aynı sayımda aynı filtre uygulanmış tomografik görüntüde gürültü ve varyans planar görüntüdekinden daha fazladır.

- *Sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılan DQE değeri matris boyutu arttıkça azalır. Yani matris boyutu arttıkça sistem tarafından detekte edilen foton sayısı azalır. Bunun sebebi MTF değerinin azalışıdır.*

TEŞEKKÜRLER