142582

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ

X-IŞINI RADYOGRAFİ TEKNİĞİNE İLİŞKİN GÖRÜNTÜ KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

142582

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fiz. Lis. Nurşen ŞAHİN
(304991011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ocak 2003

29.01.2003

Tez Danışmanı : **Prof.Dr. A. Beril TUĞRUL**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Fatma TEPEHAN** 29.01.2003
Doç.Dr. Filiz BAYTAŞ 29/1/2003

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, tahribatsız muayene yöntemlerinden hacimsel bir metot olan X-ışını radyografi tekniği ile çalışılmıştır. Endüstride önemli bir yeri olan süreksizliklerin tayini çerçevesinde görüntü kalitesinin belirlenmesi ve değerlendirilmesine çalışılmıştır.

Bu çalışmada beni yönlendiren, değerli bilgisini ve zamanını esirgemeyen, bana her türlü yardımları sağlayan Sayın Hocam Prof.Dr. A.Beril TUĞRUL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, deneysel çalışmamın başlangıç aşamasında yardımlarını gördüğüm Araş.Gör. Nilgün DOĞAN'a, bu aşamaya gelene kadar bana emeği geçen tüm hocalarıma, bütün eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme, özellikle babam Sıtkı ŞAHİN'e ve manevi desteğinden dolayı Burçak DAĞLI'ya teşekkür ederim.

Ocak, 2003 Nurşen ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR v
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
SUMMARY xv

1. GİRİŞ 1

2. RADYOGRAFİ 4
2.1. Radyografinin Tanıtımı ve Çeşitleri 4
2.2. Endüstriyel Radyografi 6
2.3. Endüstriyel Rayografide Kullanılan Radyasyon Tipleri 6
2.3.1. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Ortak özellikleri 6
2.3.2. X-Işınları 8
2.3.2.1. Karakteristik X-ışınları 8
2.3.2.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Tipi X-ışınları 9
2.3.3. Gama Işınları 12
2.4. Radyograf Kalitesi 13
2.5. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri 14
2.5.1. Geometri Faktörü 14
2.5.2. Radyasyon Kaynağı Faktörü 15
2.5.3. Film Faktörü 16
2.5.4. Ekran Faktörü 17
2.5.5. Poz Süresi 18

3. GÖRÜNTÜ KALİTE DEĞERLENDİRMESİ 20
3.1. Radyografik Hassasiyet 20
3.2. Radyografik Görüntüleme Sisteminin Rezolüsyonu 22
3.2.1. Çizgisel Dağılım Fonksiyonu 24
3.2.2. Modülasyon Transfer Fonksiyonu 25

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 32
4.1. Deneyde Kullanılan X-Işını Kaynağının Tanıtımı 32
4.2. Deneyde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı 33
4.3. Deney Geometrileri 35
4.4. Deney Düzeneği 41
4.5. Deneylerin Yapılışı 46

5. DENEY SONUÇLARI **51**
5.1. Gerilim Sabit Tutularak Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 51
5.1.1. 225 kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 51
5.1.1.1. 225 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 51
5.1.1.2. 225 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 53
5.1.1.3. 225 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 54
5.1.2. 250 kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 55
5.1.2.1. 250 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 55
5.1.2.2. 250 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 56
5.1.2.3. 250 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 57
5.1.3. 275 kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 58
5.1.3.1. 275 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 58
5.1.3.2. 275 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 59
5.1.3.3. 275 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 60
5.2. Akım Sabit Tutularak Gerilim Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları 61
5.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmeleri 61

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **125**

KAYNAKLAR **129**

ÖZGEÇMİŞ **132**

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing Materials
DIN : Deutsche Industrie Norm
FWHM : Full Width at Half Maximum
GKG : Görüntü Kalite Göstergesi
LSF : Lineer Spread Function
MTF : Modulation Transfer Function
MT : Modülasyon Transferi

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Endüstriyel radyografide yaygın kullanılan radyoaktif kaynaklar	12
Tablo 3.1.	Telli penetremetrelerin tel çapları	23
Tablo 4.1.	Numune parçaların kombinasyonel yerleşim detayları	35
Tablo 4.2.	Geliştirme ve tespit banyosu hazırlanışı	44
Tablo 4.3.	Banyo işlemi özellikleri	45
Tablo 4.4.	225 kV'taki radyografi çekimi parametreleri	48
Tablo 4.5.	250 kV'taki radyografi çekimi parametreleri	49
Tablo 4.6.	275 kV'taki radyografi çekimi parametreleri	50
Tablo 5.1.	225 kV ve 3 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	52
Tablo 5.2.	225 kV ve 4 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	53
Tablo 5.3.	225 kV ve 5 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	54
Tablo 5.4.	250 kV ve 3 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	55
Tablo 5.5.	250 kV ve 4 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	56
Tablo 5.6.	250 kV ve 5 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	57
Tablo 5.7.	275 kV ve 3 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	58
Tablo 5.8.	275 kV ve 4 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	59
Tablo 5.9.	275 kV ve 5 mA'de yapılan radyografik çekimlerin sonuçları	60
Tablo 5.10.	225 kV ve 3 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	62
Tablo 5.11.	225 kV ve 3 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	63
Tablo 5.12.	225 kV ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	64
Tablo 5.13.	225 kV ve 4 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	67
Tablo 5.14.	225 kV ve 4 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	68
Tablo 5.15.	225 kV ve 4 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	69
Tablo 5.16.	225 kV ve 5 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	73
Tablo 5.17.	225 kV ve 5 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	74
Tablo 5.18.	225 kV ve 5 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri	75

Tablo 5.19. 250 kV ve 3 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 79
Tablo 5.20. 250 kV ve 3 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 80
Tablo 5.21. 250 kV ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 81
Tablo 5.22. 250 kV ve 4 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 85
Tablo 5.23. 250 kV ve 4 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 86
Tablo 5.24. 250 kV ve 4 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 87
Tablo 5.25. 250 kV ve 5 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 91
Tablo 5.26. 250 kV ve 5 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 92
Tablo 5.27. 250 kV ve 5 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 93
Tablo 5.28. 275 kV ve 3 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 97
Tablo 5.29. 275 kV ve 3 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 98
Tablo 5.30. 275 kV ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 99
Tablo 5.31. 275 kV ve 4 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 103
Tablo 5.32. 275 kV ve 4 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 104
Tablo 5.33. 275 kV ve 4 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 105
Tablo 5.34. 275 kV ve 5 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 6 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 109

Tablo 5.35. 275 kV ve 5 mA'de 2,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 4 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 110
Tablo 5.36. 275 kV ve 5 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçadaki 2 farklı süreksizlik konumu için elde edilen, görülebilen tüm çizgi çiftlerine ait frekans ve modülasyon transferi değerleri 111

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: Numune, kaynak ve radyografik film için ışınlama düzeneği	5
Şekil 2.2	: Elektomanyetik spektrum	7
Şekil 2.3	: Karakteristik X-ışınlarına ait çizgisel spektrum	9
Şekil 2.4	: Frenleme radyasyonuna ait geniş spektrum	10
Şekil 2.5	: Sıcak katot X-ışını tüpünün başlıca iç elemanları	10
Şekil 2.6	: Miliamperdeki değişimin X-ışını demetinin şiddeti üzerindeki etkisini gösteren eğriler	11
Şekil 2.7	: Gerilim değişiminin X-ışını demetinin şiddetine etkisini gösteren eğriler	12
Şekil 2.8	: Kobalt-60'ın gama ışını spektrumu(sürekli çizgiler) ve İridyum-192'nin temel gama ışınları (kesikli çizgiler)	13
Şekil 2.9	: Yarı gölge oluşumunun şematik gösterimi	14
Şekil 2.10	: Radyografik film kesiti	16
Şekil 2.11	: Ekranların yerleşiminin şematik gösterimi	17
Şekil 2.12	: X-ışını için poz grafiği	19
Şekil 3.1	: Delikli Penetremetre	21
Şekil 3.2	: Basamaklı penetremetre	21
Şekil 3.3	: Telli Penetremetre (Alman standardı DIN 54109)	22
Şekil 3.4	: Çizgisel dağılım fonksiyonu eğrisi	24
Şekil 3.5	: Rezolüsyon test düzeneği	26
Şekil 3.6	: Giriş sinyali modülasyonu	28
Şekil 3.7	: Kare dalga şiddet dağılımı	30
Şekil 3.8	: Kare dalga ve Fourier dönüşümü ile elde edilen MTF eğrisi	31
Şekil 4.1	: X-ışını cihazının kumanda konsolu	32
Şekil 4.2	: X-ışını tüpü	33
Şekil 4.3	: Kare kanallı numune parça	34
Şekil 4.4	: Deneyde kullanılan silindirik blok numuneler	34
Şekil 4.5	: Parçaların A konumu dizilişi	36
Şekil 4.6	: Parçaların B konumu dizilişi	36
Şekil 4.7	: Parçaların C konumu dizilişi	37
Şekil 4.8	: Parçaların D konumu dizilişi	37
Şekil 4.9	: Parçaların E konumu dizilişi	38
Şekil 4.10	: Parçaların F konumu dizilişi	38
Şekil 4.11	: Parçaların I konumu dizilişi	39
Şekil 4.12	: Parçaların J konumu dizilişi	39
Şekil 4.13	: Parçaların K konumu dizilişi	40
Şekil 4.14	: Parçaların L konumu dizilişi	40
Şekil 4.15	: Parçaların M konumu dizilişi	41
Şekil 4.16	: Parçaların N konumu dizilişi	41
Şekil 4.17	: Işınlama düzeneği	42

Şekil 4.18 : Parça yerleşimi 42
Şekil 4.19 : Işınlama düzeneğinin şematik gösterimi 43
Şekil 4.20 : Kaset içindeki film ve ekranların yerleşimi 43
Şekil 4.21 : Densitometre ve referans film 46
Şekil 4.22 : X-ışını poz grafiği 47
Şekil 5.1 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 65
Şekil 5.2 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 65
Şekil 5.3 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 66
Şekil 5.4 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 70
Şekil 5.5 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 71
Şekil 5.6 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 72
Şekil 5.7 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 76
Şekil 5.8 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 77
Şekil 5.9 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 225 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 78
Şekil 5.10 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 82
Şekil 5.11 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 83
Şekil 5.12 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 84
Şekil 5.13 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 88
Şekil 5.14 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 89

Şekil 5.15 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 90
Şekil 5.16 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 94
Şekil 5.17 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 95
Şekil 5.18 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 250 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 96
Şekil 5.19 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 100
Şekil 5.20 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 101
Şekil 5.21 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 102
Şekil 5.22 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 106
Şekil 5.23 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 107
Şekil 5.24 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 4 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 108
Şekil 5.25 : 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 112
Şekil 5.26 : 2,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 113
Şekil 5.27 : 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için 275 kV ve 5 mA'de yapılan rayografi çekimi sonucu elde edilen MT –f grafiği 114
Şekil 5.28 : 225 kV sabit gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA akım değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 115
Şekil 5.29 : 250 kV sabit gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA akım değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 115
Şekil 5.30 : 275 kV sabit gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA akım değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 116
Şekil 5.31 : 3 mA akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 117

Şekil 5.32 : 4 mA akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 117
Şekil 5.33 : 5 mA akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerindeki A konumlarına ait MT-f grafikleri 118
Şekil 5.34 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 3 mA akımda, 225 kV,250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 119
Şekil 5.35 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 4 mA akımda, 225 kV,250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 120
Şekil 5.36 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 5 mA akımda, 225 kV,250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 121
Şekil 5.37 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 225 kV gerilim, 3 mA, 4 mA ve 5 mA akım değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 122
Şekil 5.38 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 250 kV gerilim, 3 mA, 4 mA ve 5 mA akım değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 123
Şekil 5.39 : 4,8 cm kalınlıklı numune için 275 kV gerilm, 3 mA, 4mA ve 5 mA'de akım değerlerinde MT'nin süreksizlik yerine göre değişimi 124

SEMBOL LİSTESİ

A	: Radyoizotopun aktivitesi
a_0	: Kare dalga genişliği
c	: Işık hızı
D	: Kararma veya film yoğunluğu
D_0	: Kaynak-örnek uzaklığı
D_1	: Kaynak-film mesafesi
E	: Foton enerjisi
μ	: Lineer absorbsiyon katsayısı
ρ	: Malzeme yoğunluğu
μ_m	: Kütle absorbsiyon katsayısı
ε	: Radyografta görülen en ince kalınlık/en ince tel çapı/en küçük delik çapı
F	: Kaynak boyutu
f	: Uzaysal frekans
Ø(f)	: Çizgisel dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümü
Ø(x)	: Çizgisel dağılım fonksiyonu
ψ'_{max}	: Radyasyon şiddetindeki uzaysal dağılımın maksimum değeri
ψ'_{min}	: Radyasyon şiddetindeki uzaysal dağılımın minimum değeri
Ψ_{max}	: Radyograftaki film yoğunluğu dağılımının maksimum değeri
Ψ_{min}	: Radyograftaki film yoğunluğu dağılımının minimum değeri
h	: Planck sabiti
I(0)	: X-ışını demetinin başlangıç şiddeti
I(x)	: x kalınlıklı malzemeyi geçen X-ışını şiddeti
J	: Filmi geçtikten sonraki ışık şiddeti
J_0	: Filmi geçmeden önceki ışık şiddeti
L	: Penetremetre kalınlığı
λ	: Dalga boyu
M(f)	: Çıkış modülasyonu
M′(f)	: Giriş modülasyonu
MT	: Modülasyon transferi
MTF	: Modülasyon transfer fonksiyonu
ν	: Frekans
P	: Poz faktörü
S	: Radyografik hassasiyet
t	: Örnek-film uzaklığı
t_p	: Poz (ışınlama) süresi
U_g	: Yarı gölge genişliği
V	: Çizgi genişliği
x	: Malzeme kalınlığı

ÖZET

X-IŞINI RADYOGRAFİ TEKNİĞİNE İLİŞKİN GÖRÜNTÜ KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

Radyografi, malzeme iç yapısının ayrıntılı görüntüsünü elde etmeyi sağlayan hacimsel tahribatsız muayene yöntemidir. Endüstriyel radyografide esas itibariyle X ve gama ışınları kullanılmaktadır. Radyografi tekniği, endüstride yaygın olarak süreksizlik tayini amacıyla kullanılmaktadır.

Süreksizlik, malzemede mekanik, metalurjik ve fiziki karakterler bakımından homojenliğin bozulması olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, süreksizlikleri temsil eden kanallar içeren özel olarak üretilmiş silindirik blok şeklindeki çelik numuneler kullanılmıştır. Görüntü kalitesinin süreksizliklerin konumuna ve X-ışını cihazı kumanda parametreleri olan gerilim ve akıma göre nasıl değiştiğini tayin etmek amacıyla farklı süreksizlik konumları, farklı akım ve gerilim değerlerinde X-ışını radyografi çekimleri yapılmıştır.

Elde edilen radyografların değerlendirmesini yapabilmek için fotografik film yoğunlukları ölçülmüş, hassasiyet değerleri tayin edilmiş ve radyografların standartlara uygun oldukları gözlenmiştir. Bundan sonra radyograflara ilişkin modülasyon transferi değerleri tayin edilmiş ve beklenti doğrultusunda ileri bilgiler elde edilmiştir.

Sonuç olarak, X-ışını radyografi uygulama sınırları içinde kalmak şartıyla akım ve gerilim çalışma parametrelerindeki artışın pozitif yönde, süreksizliklerin filme olan mesafelerindeki artışın ise negatif yönde görüntü kalitesini etkilediği görülmüştür.

SUMMARY

EVALUATION OF IMAGE QUALITY FOR X-RAY RADIOGRAPHY TECHNIQUE

Radiography is a volumetric nondestructive testing method, which provides a detailed internal image of a material. X and gamma rays are essentially used in industrial applications. In industry, radioraphy technique is mostly used for detection of discontinuities in materials.

Discontinuity is described as a distortion of homogenity of material in terms of mechanical, metallurgical and physical characteristics. In this study, special cylindirical steel objects containing canalls that represent discontinuities, were used in the experiments. X-ray radiographes were taken with different current and voltage at the different discontinuity positions in order to determine how image quality changes due to the changing of control parameters and discontinuity positions.

For the evaluation of the radiographes , fotographic film densities were measured and sensitivities were calculated and it was observed that radiographs are appropriate to standarts. Then modulation transfer values were determined and in accordance with expectations advanced information obtained.

As a result, increasing of working parameters, current and voltage, which have to be in the limits of X-ray radiography applications, effects image quality positively. On the contrary , it is seen that the increase in the distance of discontinuity to film, effects the image quality negatively.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle, malzemelerin niteliğini belirleyen tekniklere olan ihtiyaç, her geçen gün artmaktadır. Özellikle endüstriyel proses ve kalite kontrolde ekonomik, pratik ve duyarlı kontrol ve üretim sistemleri araştırılmakta ve en uygun olanları tercih edilmektedir. Bu amaçla tahribatsız muayene yöntemleri geliştirilmiş bulunmaktadır **(Sharpe, 1973).**

Tahribatsız muayene metotlarının; yapıların doğruluğunun kontrolü, boşluk ve bileşenlerin ölçülmesi, kaplama kalınlığı ölçümü, hata ve düzensizliklerin belirlenmesi gibi pek çok uygulamaları söz konusudur. Bu bağlamda, bu tekniklerin önemli uygulamaları metal ve metal olmayan malzemelerde ve kaynaklarda kusur deteksiyonudur **(Halmshaw, 1995).** Tahribatsız muayene yöntemleri; bilindiği gibi, bir malzeme veya ürüne zarar vermeden yapısındaki süreksizlik ve hatalar ile işlevsel özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlayan tekniklerdir. Süreksizlik, bir malzeme veya kaynaklı yapıda mekanik, metalurjik ve fiziki karakterler bakımından homojenliğin bozulması olarak tanımlanmaktadır. Süreksizlikler standartların müsaade ettiği sınırı aştıklarında hata olarak adlandırılmaktadırlar. Bununla birlikte süreksizlikler her zaman hatayı ifade etmemektedirler. Kusur ise istenmeyen ancak standart ve şartnamelere uygunluğu engellemeyen süreksizliklerdir **(TS-11245, 1994).**

Tahribatsız muayene yöntemlerinin kullanımıyla malzemenin bizzat kendisinin veya bir kısmının üretim aşamasında muayene edilebilmesi mümkün olabilmektedir. Böylece kullanılacak malzemenin veya ürünün özellikleri ve güvenilirliği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir **(Bray ve McBride, 1992).**

Tahribatlı muayene yöntemlerinde ise, bir yığın halindeki ürünler, örnekleme tekniği ile seçilmekte ve bu ürünler muayene sırasında kullanılamaz hale getirilerek kontrol edilmektedirler. Bir başka deyişle, kullanılacak ürün veya

malzemenin bizzat kendisi hakkında bilgi sahibi olunamamakta, ancak fikir sahibi olunabilmektedir. Bu durumda, tahribatsız muayene yöntemleri kullanılacak ürünün kendisinin kalitesinden emin olunması istendiğinde vazgeçilmezlik ifade etmektedir **(Akıncı, 1996).**

Tahribatsız muayane yöntemleri malzemeye zarar vermeden uygulanan teknikler olduğundan, malzemedeki süreksizlikleri de tespit edebilmek için yaygın şekilde kullanılabilen metotlar olmaktadır. Son yıllarda farklı alanlardaki gereksinimler ve yüksek kalite ihtiyacından doğan talepler nedeniyle tahribatsız muayene yöntemlerinde hızlı bir gelişme gözlenmektedir. Özellikle nükleer ve havacılık alanlarında tahribatsız muayene uygulamaları vazgeçilmez boyutlara gelmiş bulunmaktadır. **(McGonnagle, 1971).** Bu bağlamda, malzemede herhangi bir hasar meydana getirmeden uygulanabilen tahribatsız muayene yöntemleri tahribatlı yöntemlere göre daha üstün özelliklere sahiptir **(Yılmaz, 1999).**

Tahribatsız muayene yöntemleri genel olarak üç ana grupta toplanabilir. Bu gruplar, hacimsel tahribatsız muayene yöntemleri, yüzeysel tahribatsız muayene yöntemleri ve bileşik tahribatsız muayene yöntemleridir. Bunlar arasında beş teknik en fazla bilinenidir. Bunlar; radyografi, ultrasonik muayene, manyetik parçacık, girdap akımları ve sıvı penetranttır. Buradaki gruplamalar, alt kısımlara ayrılabilir ve bunlara akustik emisyon yöntemleri, termografi ve halografi gibi teknikler eklenebilir **(Halmshaw, 1995).**

Burada sayılan beş teknik rutin olarak nitelenebilen tahribatsız muayene yöntemleri olup, kullanımları ve kullanıcılarının vasıflandırılması standartlaştırılmış, yaygın kullanımlı tekniklerdir. Bu tekniklerin her birinin uygulama amacı ve yerine bağlı olarak tercih edilebileceği şartlar söz konusudur **(Tuncel, 1994).**

İdeal olarak, kullanılacak tekniğin seçimi, istenen kusur hassasiyetine göre yapılmalıdır. Ancak, tespit edilmek istenen en küçük kusurun boyutunu tespit etmek her zaman mümkün olmayabilmektedir. Kullanılacak tekniğin seçimi, genelde ekipmanın erişilebilirliği veya uygunluğu, gerekli uygulama zamanı gibi faktörlere de bağlı olmaktadır.

Hacimsel hataların tespitinde, teknolojik gelişim içinde en eski ve en fazla kullanılan muayene yöntemlerinden birisi radyografidir. Radyografi ile malzeme iç yapısına ilişkin bilgi, ayrıntılı görüntü olarak elde edilebilmektedir **(Halmshaw, 1995).**

Ayrıca, radyografi, malzemelerdeki süreksizlikleri tahribatsız olarak detekte edebilen etkili bir yöntemdir **(Bray ve McBride, 1992).** Test kayıtlarının kalıcı ve yöntemin hayli hassas olmasından ötürü radyografi yaygın olarak uygulanmaktadır **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

Radyografi yöntemi; 1895 yılında X-ışınlarının Roentgen tarafından keşfedilmesini takiben gelişmiştir. Başlangıçta, X-ışınları tıbbi radyografide kullanılmaktaydı. Radyografi ilk defa, 1930'lu yıllarda Amerikan donanması tarafından kaynak dikişlerinin kontrolünde bir endüstriyel tahribatsız muayene yöntemi olarak kullanılmıştır. İkinci dünya savaşından sonra gama ışınlarının ve takriben 1960 yıllarından sonra da nötronların kullanılmaya başlanmasıyla endüstriyel radyografinin sınırları hayli genişlemiştir **(Özden, 1972).**

Radyografi diğer tahribatsız muayene yöntemlerine göre avantaja sahiptir. Radyografi ile malzeme kalınlıkları geniş bir aralıkta belirlenebilir. Eğer malzemenin her iki tarafına ulaşılabilirlik mümkünse, ultrasonik olarak taramanın güç olacağı karmaşık şekillere kolayca radyografik teknik uygulanabilir. Ayrıca, demir ve demir dışı metallere uygulanabilir olması radyografinin önemli bir avantajıdır **(Bray ve McBride, 1992).**

Böylelikle, endüstride tahribatsız muayene yöntemleri içinde radyografi önemli bir yer tutmaktadır. Radyografi içerisinde de, tarihsel gelişim ve kalite kontrolün sağlanması bağlamında, hassas ve güvenilir bir yöntem olması bakımından X-ışını radyografisi önde gelmektedir.

Bu Yüksek Lisans Tez çalışmasında, endüstride yaygın kullanımlı bir hacimsel tahribatsız muayene yöntemi olan X-ışını radyografi tekniğine ilişkin görüntü kalite değerlendirmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

RADYOGRAFİ

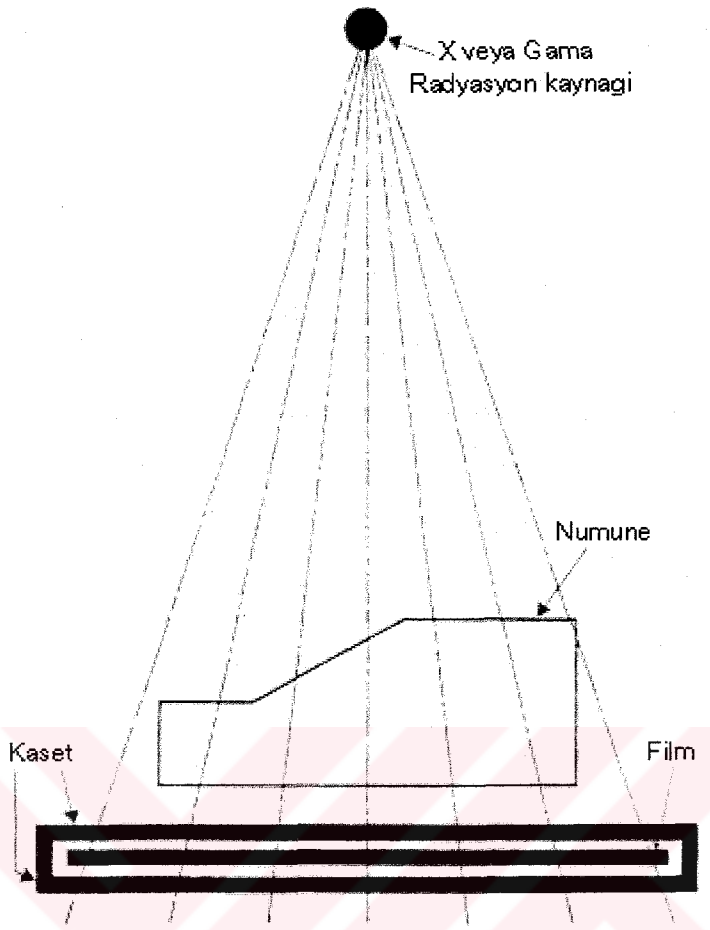
2.1. Radyografinin Tanıtımı ve Çeşitleri

Radyografi, girici radyasyonla, malzeme iç yapısına ilişkin ayrıntılı görüntü elde etmeye yarayan bir metottur **(Halmshaw, 1995).** Diğer bir ifadeyle radyografi, gama ışınları, X-ışınları, nötronlar veya yüklü parçacıklar gibi radyasyonların nüfuziyetinden yararlanarak, opak bir cismin iç görüntüsünün alınmasını sağlayan bir teknik olmaktadır.

Bir radyasyon demeti herhangi bir heterojen malzemeden geçtiğinde malzemenin değişen kalınlığına, yoğunluğuna ve kimyasal bileşimine bağlı olarak soğurulmaktadır. Malzemeden geçen radyasyon, fotoğraf filminde veya floroskopik ekranda malzeme iç yapısının görüntüsünü oluşturmakta ve görüntü, radyasyonun malzemeden geçerken uğradığı soğurulma olayı sonucunda elde edilmektedir **(Parker, 1987).** Şekil 2.1'de radyografik inceleme düzeneği şematik olarak görülmektedir.

Radyografi bir transmisyon tekniği olup, bu teknikte girici ışınların malzemeyi kat edebilme özelliğinden yararlanılmaktadır. Bu bağlamda, Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi radyografide, girici radyasyon kaynağı, radyografisi çekilecek parçanın bir tarafına, film veya radyasyon detektörü de diğer tarafına yerleştirilmektedir **(Halmshaw, 1995).**

Numune boyunca geçen girici radyasyonlar tarafından film üstünde oluşturulan fotografik kayıt, radyograf olarak adlandırılmaktadır. Bu bağlamda, radyografik film, kalıcı kayıt sağlamaktadır **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 2.1 Numune, Kaynak ve Radyografik Film İçin Işınlama Düzeneği **(Becker, 1990).**

Radyografi matematiksel olarak, bilinen eksponansiyel soğurma yasasının bir uygulamasıdır. Bu yasa, Denklem 2.1'deki gibi ifade edilebilir.

$$I(x) = I(0)e^{-\mu x} \tag{2.1}$$

Burada; I(0) X-ışını demetinin başlangıç şiddeti; I(x) ise, x kalınlıklı, μ lineer absorbsiyon katsayılı malzemeyi geçen X-ışını şiddetidir. Bir farklı şekilde ise;

$$I(x) = I(0)e^{-\mu_m \rho x} \tag{2.2}$$

olarak ifade edilebilir. Burada μ_m kütle absorpsiyon katsayısı olup, ρ malzemenin yoğunluğu olmak üzere;

$$\mu_m = \mu / \rho \tag{2.3}$$

şeklinde tanımlanmaktadır **(Lamarch, 1977).**

μ/ρ oranı, soğurucu kimyasal elementin atom numarasının ve X-ışını demetinin dalga boyunun fonksiyonudur **(Parker, 1987).**

2.2. Endüstriyel Radyografi

Endüstriyel radyografi esas itibariyle X-ışını radyografisini ve gama radyografisini (gamagrafi) kapsamaktadır **(Parker, 1987).** Bir başka deyişle, endüstrinin ihtiyaçlarına hayli iyi cevap veren girici radyasyon tipi olması nedeniyle, sanayide, daha çok girici elektromanyetik radyasyonlar olan X ve gama ışınları kullanılmaktadır **(Şişman, 1992).**

Endüstriyel radyografi süreksizlik tayini için etkin bir yöntem olarak nitelenmektedir. Bu bağlamda, boşluk, çatlak, kusur, ayrım, porozite ve inklüzyon gibi fiziksel iç hataların deteksiyonunu mümkün kılmaktadır **(Parker, 1987).**

2.3. Endüstriyel Radyografide Kullanılan Radyasyon Tipleri

Endüstriyel radyografide kullanımı tercih edilen X ve gama ışınlarının ortak özellikleri bulunmaktadır.

2.3.1. Girici Elektromanyetik Radyasyonun Ortak Özellikleri

Girici elektromanyetik radyasyonlar, görülebilir ışık gibi elektromanyetik radyasyon ailesine mensup ışınlardır. X ve gama ışınlarının ayırt edici özelliği, ışığın dalga boyuna göre hayli küçük dalga boyuna sahip olmalarıdır **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Girici elektromanyetik radyasyonun enerjisi ile frekansı arasında doğru orantı bulunmakta ve foton enerjisi;

$$E=h\nu \qquad (2.4)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada; E foton enerjisini, h Planck sabitini ve ν de frekansı ifade etmektedir. Öte yandan frekans ise;

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad (2.5)$$

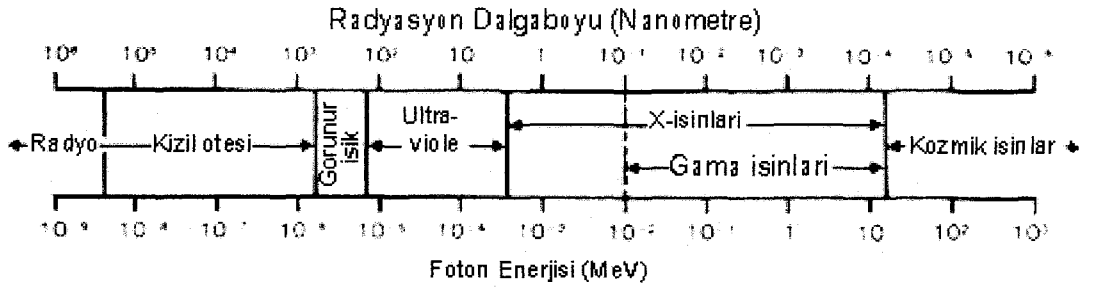
olarak yazılabilir. Burada; c ışık hızını, λ ise dalga boyunu temsil etmektedir.

Denklem 2.5'te Planck sabiti ($h = 6{,}63.10^{-34}$ j.s) ve ışık hızının (c = 300000 km/s) değerleri yerine konduğunda;

$$E(keV)=\frac{12,4}{\lambda(A^0)} \qquad (2.6)$$

ifadesi elde edilir.

X ve gama ışınları elektromanyetik spektrumun Şekil 2.2'de görülen kısmında yer almaktadırlar.



Şekil 2.2 Elektromanyetik Spektrum **(Becker, 1990).**

Girici elektromanyetik radyasyonun özeliklerini genel olarak şu şekilde sıralayabiliriz,

X ışını fotonları **(Hiss, 1993);**

- Işık hızında (3.10^8 m/s ile) hareket ederler.
- Doğrusal yayınlanırlar, (bir malzeme ile etkileşip ikincil veya saçılma fotonlarını oluşturmadıkça) ortamda yol alırken yönlerini değiştirmezler.
- Nokta kaynaktan yayınlanan X- ışınlarının şiddeti ters kare kanununa uygun olarak, mesafenin karesi ile ters orantılı olarak azalır **(Quinn ve Sigl, 1980).**
- Madde ile etkileşirler **(Becker, 1990).**
- Malzeme atomlarını iyonlaştıracak yeterli enerjiye sahiptirler. Böylece kuvvetlendirici ekranlarda olduğu gibi belirli lüminesans malzemelerin ışık yaymasına neden olurlar.
- Optik cam merceklerde görülür ışık gibi cevap vermezler. Bir başka deyişle, cam mercekler kullanılarak, daha düşük enerjili ışık fotonlarının odaklanabildiği gibi odaklanamazlar.

- Yüksek enerji iyonlaştırma karakteristikleri nedeniyle fotografik filmde gizli görüntü oluşturabilirler.
- İnsan dokusu veya herhangi bir tip canlı doku ile etkileştikleri zaman biyolojik ve kimyasal değişimlere neden olurlar.
- Yüksek enerji seviyeleri nedeniyle katı ve rijid malzemelere nüfuz edebilirler.
- Kütlesiz enerji şeklidirler, pozitif veya negatif elektriksel yük almazlar diğer bir deyişle nötrdürler.
- Fotonla yayınırlar **(Kaelble, 1967).**
- Dalga tabiatına uyarlar.**(Parker, 1987).**
- Yaklaşık 0,0001'den 1000 A^0'a kadar geniş bir dalga boyu aralığı ile karakterize edilirler.
- Kaynaktan izotropik olarak yayınırlar.

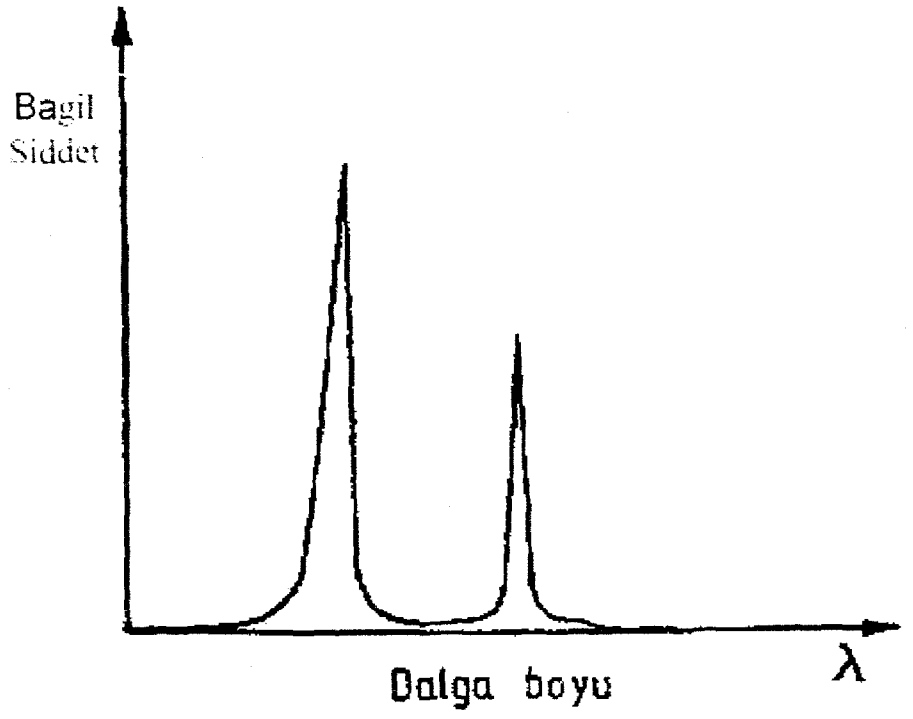
2.3.2. X-Işınları

İki tipte X-ışını vardır. Bunlar;

- Karakteristik X-ışınları,
- Frenleme (Bremsstrahlung) tipi X-ışınlarıdır.

2.3.2.1. Karakteristik X-ışınları

Karakteristik X-ışınları, atomun elektron enerji seviyeleri arasındaki farklardan meydana gelmektedir. Elektronların herhangi bir uyarıyla bir üst seviyeye çıkmasından sonra atomun dengeli hale gelebilmesi için bu elektron tekrar alt seviyeye döner ve bu sırada fazla enerjisini X-ışını olarak verir. Atomun elektron enerji seviyeleri ve bu enerji seviyeleri arasındaki farklar o atoma özgü olduğundan salınan enerji söz konusu atom için karakteristik olmaktadır. Bu nedenle bu tip X-ışınlarına "karakteristik X-ışınları" adı verilmektedir. Karakteristik X-ışınları belirli enerji seviyeleri için söz konusu olduğundan Şekil 2.3'te görüldüğü gibi çizgisel spektruma sahiptirler **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**



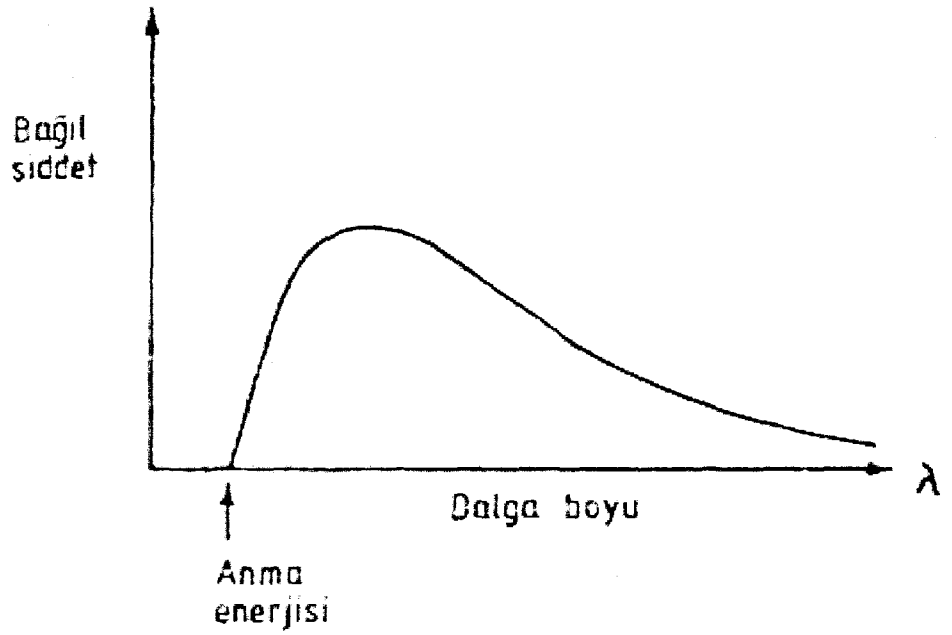
Şekil 2.3 Karakteristik X-ışınlarına Ait Çizgisel Spektrum **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

2.3.2.2. Frenleme (Bremsstrahlung) Tipi X-Işınları

Hızlandırılmış elektronlar, bir hedef eleman çekirdeğinin elektrik alanında ani olarak yavaşlatılmaları veya durdurulmaları sonucunda enerjilerinin bir kısmını veya tamamını kaybederler ve bu enerji X-ışını olarak açığa çıkar. Bu tip X-ışınları "frenleme tipi X-Işınları" veya "frenleme radyasyonu" yada "Bremsstrahlung" olarak adlandırılmaktadırlar.

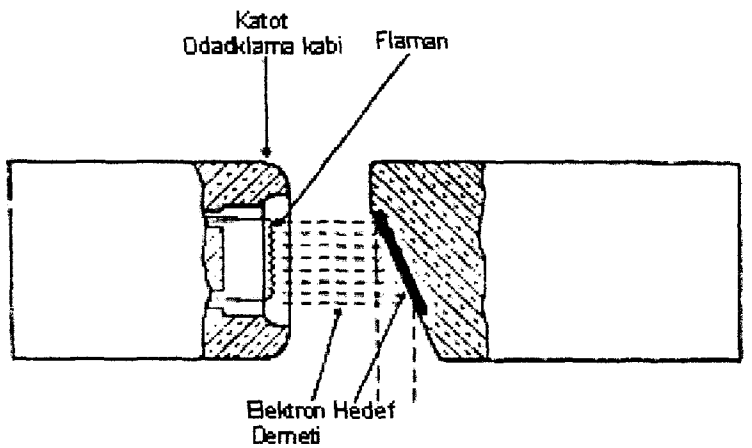
Genellikle oluşan X-ışını fotonunun enerjisi gelen hızlandırılmış elektronun enerjisinden daha azdır. Başka bir deyişle, genelde gelen elektronlar enerjilerini birkaç etkileşme sonunda tamamen kaybederler.

Böylece farklı dalga boylarında X-ışınları yayınlanır ve bu nedenle de frenleme tipi X-ışınları Şekil 2.4'te görüldüğü gibi sürekli (veya geniş) spektruma sahip olmaktadır **(Halmshaw, 1995).**



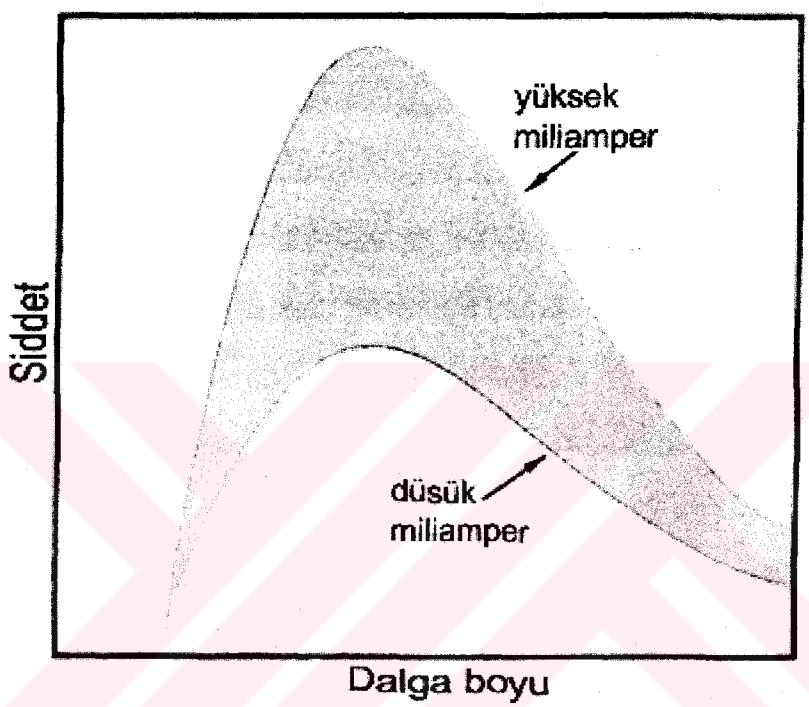
Şekil 2.4 Frenleme Radyasyonuna Ait Geniş Spektrum **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

Genelde, X-ışınları hızlı hareket eden elektronların hedefe çarptığı boşaltılmış bir kapta üretilmektedir. X-ışını üretmede kullanılan elektronlar, flamentin ısıtılmasıyla, gazın iyonizasyonuyla veya nokta kaynaktan alan yayınımıyla üretilebilmektedir. Endüstri uygulamalarında X-ışını üretmek için genellikle sıcak katot tarafından üretilen elektronlar kullanılmakta ve bu elektronlar elektrik alanla metal hedefe doğru hızlandırılmaktadırlar. Tipik bir X-ışını tüpünün temel iç elemanları Şekil 2.5'te gösterilmektedir **(Becker, 1990).**



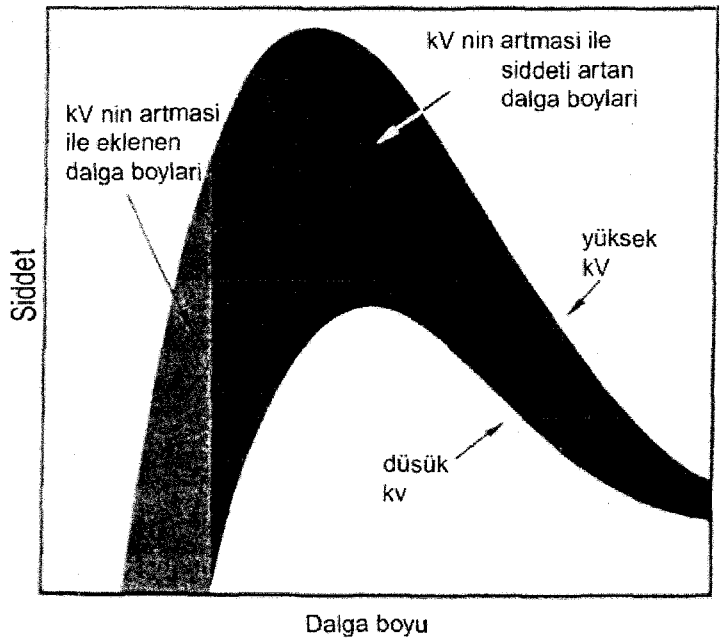
Şekil 2.5 Sıcak Katot X-Işını Tüpünün Başlıca İç Elemanları **(Becker, 1990).**

Şekil 2.6'da yüksek akım ve düşük akım olmak üzere, iki farklı akım şartlarında frenleme tipi X-ışınlarının spektrumları görülmektedir. Burada her iki akım için olan spektrumda da aynı dalga boylarının olduğu görülmektedir. Bu nedenle akımın değişmesiyle X-ışını kalitesinde veya giricilik gücünde herhangi bir değişim olmamakta sadece miktarında değişim meydana gelmektedir **(Quinn ve Sigl,1980).**



Şekil 2.6 Miliamperdeki Değişimin X-ışını Demetinin Şiddeti Üzerindeki Etkisini Gösteren Eğriler **(Quinn ve Sigl, 1980).**

X-ışını tüpüne uygulanan gerilim (kV) sadece kaliteyi değil aynı zamanda demetin şiddetini de etkilemektedir. Gerilim artarken frenleme tipi X-ışınlarının dalga boyu kısalmakta ve giricilik gücü artmaktadır. Şekil 2.7'de aynı akımda, ancak iki farklı gerilimde oluşturulan frenleme tipi X-ışınlarının spektrumları görülmektedir. Burada yüksek kV'taki demette, düşük kV'taki demette bulunmayan daha kısa dalga boylarının olduğu görülmektedir. Ayrıca, düşük kV'taki demette bulunan bütün dalga boyları, yüksek kV'taki demette bulunmakta ve üstelik de daha fazla miktarda olmaktadır. Böylece kV'un artmasıyla frenleme tipi X-ışınlarının hem şiddeti hem de giriciliği artmaktadır **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 2.7 Gerilim Değişiminin X-Işını Demetinin Şiddetine Etkisini Gösteren Eğriler **(Quinn ve Sigl,1980).**

2.3.3. Gama Işınları

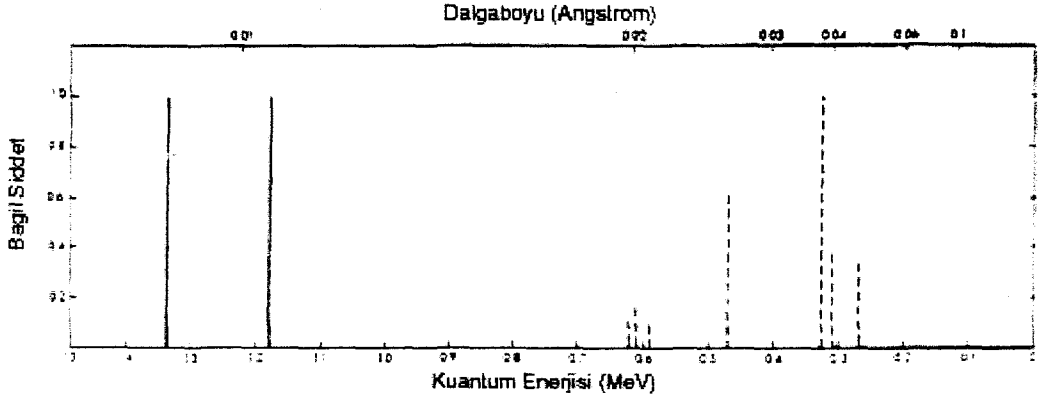
Gama ışınları, X-ışınları gibi elektromanyetik dalgalardır ve bunları X-ışınlarından ayıran orijinleridir. X-ışınları çekirdek dışındaki atom elektronlarından oluşur. Gama ışınları ise çekirdekte oluşur. Bir başka ifadeyle, gama ışınları radyoaktif malzemelerin çekirdeklerinin bozunmasıyla yayınlanır **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

Hem doğal olarak oluşan, hem de yapay olarak üretilen radyoizotop gama kaynakları vardır. Ancak endüstriyel radyografide, gama radyasyon kaynağı olarak hemen hemen sadece yapay radyoizotoplar kullanılmaktadır **(Becker, 1990; Quinn ve Sigl, 1980).** Endüstriyel radyografide kullanılan bazı radyoizotoplar Tablo 2.1'de görülmektedir.

Tablo 2.1 Endüstriyel Radyografide Yaygın Kullanılan Radyoaktif Kaynaklar **(Bray ve McBride, 1992).**

Element veya izotop	Yarı ömür	Normalde incelenen çelik kalınlığı
Radyum	1580 yıl	8-20 cm
Sezyum-37	33 yıl	2,5-10 cm
Kobalt-60	5,3 yıl	4-13 cm
İridyum-92	75 gün	1,3-6 cm

Gama ışınlarının kalitesi (dalga boyu veya giricilik) ve radyasyon şiddeti kullanıcı tarafından kontrol edilemez. Frenleme tipi X-ışınlarının geniş spektrumunun tersine, gama ışınları ayrık foton enerji seviyelerinden oluşan çizgi spektrumuna sahiptirler **(Becker, 1990).** Gama ışınlarının spektrumuna bir örnek Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8 Kobalt-60'ın Gama Işını Spektrumu (Sürekli Çizgiler) ve Iridyum-192'nin Temel Gama Işınları (Kesikli Çizgiler) **(Quinn ve Sigl, 1980).**

2.4. Radyograf Kalitesi

Filmdeki radyografik görüntü kalitesi, üç görüntü parametresi ile ilgili olarak değerlendirilmektedir. Bu parametreler kontrast, tanım ve taneselliktir **(Halmshaw, 1995).** Görüntünün hassasiyeti, radyografik sistem tarafından üretilen kontrast ve tanımın fonksiyonudur **(Becker, 1990).**

Kontrast, radyograf üzerinde iki bölge arasındaki fotografik film yoğunluğu farkıdır. Film yoğunluğu veya kararma yoğunluğu Denklem 2.7'deki gibi ifade edilmektedir.

$$D=\log(J_0/J) \qquad (2.7)$$

Burada J_0 filmi geçmeden önceki ışık şiddeti, J ise filmi geçtikten sonraki ışık şiddetidir ve bunlar fotometrik olarak ölçülebilmektedirler. Ayrıca, fotoğrafik film yoğunluğu da densitometre ile ölçülebilmektedir. Endüstriyel radyografide, 2 - 3,5 arasındaki film kararma yoğunluğu, kabul edilebilir olarak nitelenmektedir. İnsan gözü, yanyana olan bölgeler arasında minimum 0,02 film kararma yoğunluğu farkını ayırt edebilmektedir **(Parker, 1987).**

Keskin uçlu bir yarık içeren numunenin radyografisi çekilirse, görüntü keskin yada bulanık olarak filme kaydedilebilir, buna "tanım" denmektedir **(Halmshaw, 1995).** Tanım, görüntü detaylarının keskinliği ile ilgilidir **(Becker, 1990).**

Görüntü kalitesine etki eden bir diğer parametre de taneselliktir. Radyografi filmindeki görüntü, sadece mikroskopla görülebilecek kadar küçük, çok sayıda gümüş tanecikler tarafından oluşturulur **(Quinn ve Sigl, 1980).** Bu tanesellik, görüntüde ince detayı gizleyebilir **(Halmshaw, 1995).**

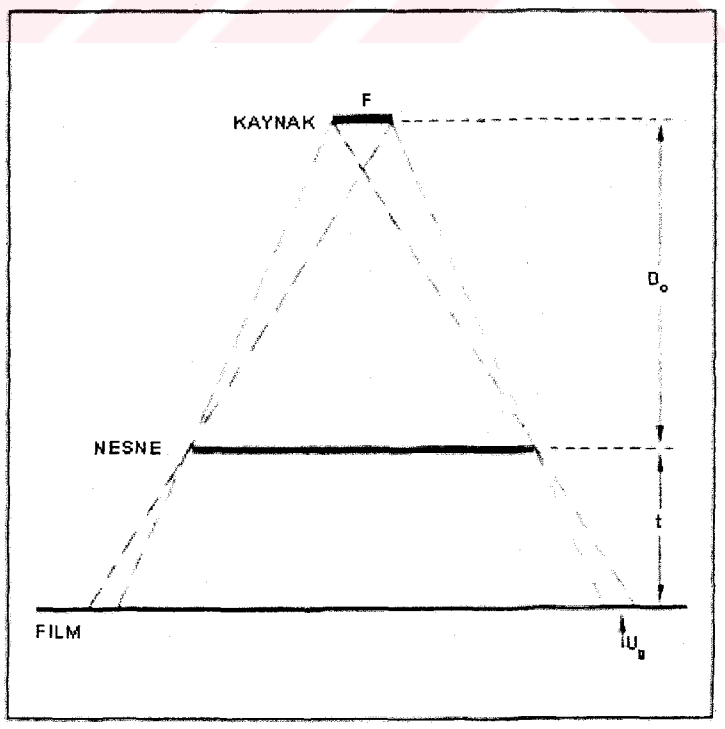
Radyografik görüntü kalitesinin temel parametreleri olan kontrast, tanım ve tanesellik farklı faktörlerden etkilenir. Bunlar, görüntü kalite faktörleri olarak nitelenebilmektedir.

2.5. Radyografi Görüntü Kalite Faktörleri

Radyografın kalitesine etki eden başlıca beş faktör söz konusudur. Bunlar geometri faktörü, radyasyon kaynağı faktörü, film faktörü, ekran faktörü ve poz (ışınlama) süresidir.

2.5.1. Geometri Faktörü

Radyografi çekiminde radyasyon kaynağı boyutu ve ışınlama düzeneği geometrisi üzerinde durulması gereken hususlardır. Başka bir deyişle, kaynak-örnek mesafesi, örnek-film mesafesi, örnek kalınlığı ve şeklinin radyograf üzerinde elde edilecek görüntünün kalitesine etkisi önemlidir. Bu faktörlerin etkisi şematik olarak Şekil 2.9'da görülmektedir **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 2.9 Yarı Gölge Oluşumunun Şematik Gösterimi **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Şekil 2.9'da görülen geometri faktörlerinin oluşturduğu yarı gölge genişliği;

$$U_g=F.(t/D_0) \quad (2.8)$$

şeklinde bulunmaktadır. Burada; F kaynak boyutu, D_0 kaynak-örnek uzaklığı, t ise örnek-film uzaklığıdır **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Yarı gölge görüntü tanımlılığını, bir başka deyişle, keskinliği bozmaktadır. Yarı gölge ne kadar küçük olursa, keskinlik o kadar iyi olmakta ve dolayısıyla da görüntü kalitesi yükselmektedir **(Akıncı, 1996).**

Yarı gölgeyi azaltmak için kaynak boyutu mümkün olduğunca küçük olmalı, kaynak-örnek mesafesi arttırılmalıdır. Örnek-film mesafesinin minimum olması için örnek film üzerine yerleştirilmektedir. Bu durumda, x örnek kalınlığı olmak üzere, kaynak-film mesafesi (D_1) pratikte ;

$$D_1 \geq 8x \quad (2.9)$$

olacak şekilde çekim geometrisi oluşturulmaktadır.

2.5.2. Radyasyon Kaynağı Faktörü

Radyografa etki eden radyasyon kaynağı faktörleri kaynağın boyutu, şiddeti ve enerjisidir **(Bilge ve Tuğrul, 1990).** Radyografide kullanılan radyasyonun X-ışını tüpünden veya radyoizotoptan gelmesi, esas itibariyle, rayografik görüntüde herhangi bir değişime neden olmaz.

Tüpteki gerilimi (kV) değiştirerek X-ışınlarının enerjisi değiştirilebilir. Buna karşın, yaratılan X-ışınlarının miktarı, akımı (mA) değiştirerek ayarlanabilir. Bu bağlamda, radyasyonun enerjisi kalite faktörü, şiddeti de kantite faktörü olarak ifade edilebilmektedir. Böylelikle, X-ışınlarının kalite ve kantite faktörleri X-ışını cihazı kumanda konsolundan kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

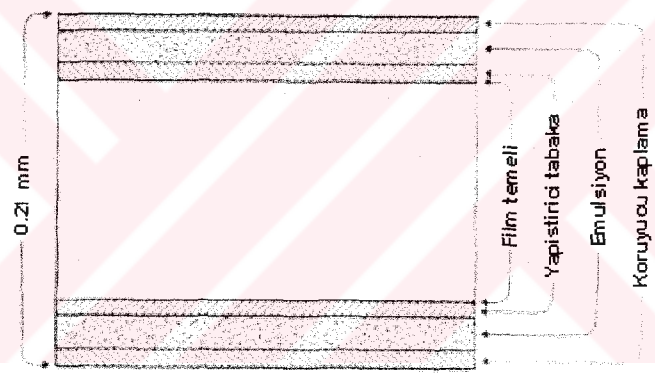
Gama ışınlarının enerjisi veya kalite faktörü, radyoizotop kaynağın enerjisi (MeV) ile ifade edilmektedir. Buna karşın kantite faktörü ise, radyoizotopun aktivitesi (Ci) ile ilgilidir. Gama ışınlarının enerjisi değiştirilmek istendiğinde kaynağın değiştirilmesi, kantite faktörü değiştirilmek istendiğinde ise, radyoizotopun aktivitesinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, radyoizotopların aktivitesi zamanın fonksiyonu olarak değişmektedir **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

2.5.3. Film Faktörü

Radyografın kalitesine etki eden film faktörleri bulunmaktadır. Bunlar; filmin hızı ve film emülsiyonunda bulunan AgBr (Gümüş Bromür) kristallerinin boyutlarıdır **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Radyografi filmi hassas bir emülsiyon ile kaplanmış şeffaf ve esnek, kalınlık olarak nispeten ince bir film temelinden (film esası) oluşur. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi emülsiyon, film temeline ince bir yapıştırıcı tabaka ile tutturulmakta ve aşınmayı en aza indirmek için jelatinli bir katmanla kaplanmaktadır **(Halmshaw, 1995).**

Endüstriyel radyografi filmlerinin genellikle iki tarafları da emülsiyon ile kaplıdır. Çünkü bu şekilde iki emülsiyon tabakasındaki radyografik görüntü, üst üste biner ve yoğunluk iki katı artar böylece de hız önemli ölçüde artmış olur **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 2.10 Radyografik Film Kesiti **(Becker, 1990).**

Radyografi filmleri tane yapısına göre;

1. İnce taneli filmler
2. Orta taneli filmler
3. İri taneli filmler

olmak üzere üçe ayrılabilir.

Görüntü, radyografik film üzerine noktalar mertebesinde kaydedildiğinden, ince taneli filmler detayı daha iyi vermektedirler **(Bilge ve Tuğrul, 1990).** Ayrıca tane boyutu filmin hızını da belirler.

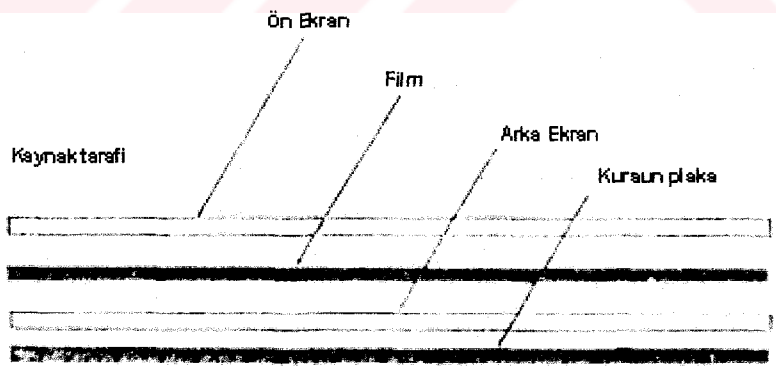
Diğer faktörler sabit kaldığı sürece filmin hızı kristallerin boyutuyla ters orantılıdır. Bu bağlamda, ince taneli filmler yavaş, orta taneli filmler orta hızlı, iri taneli filmler ise hızlı filmlerdir. Diğer bir deyişle, ince taneli filmler daha uzun poz süresi gerektirirler. Buna karşın, hızlı filmler, kısa poz süresine sahiptirler.

Radyografi filminin seçimi, yüksek kontrast ve kısa poz süresinden hangisinin tercih edileceğine göre yapılmaktadır. Eğer yüksek görüntü kalitesi isteniyorsa, ince taneli filmler, kısa poz süresi isteniyorsa da iri taneli filmler tercih edilmektedir. Endüstriyel radyografide, hızlı filmler tercih edilmez. Endüstriyel pratik uygulamalarda, zaman sınırı yoksa yavaş filmler, rutin hizmetlerde ise orta hızlı filmler kullanılmaktadır **(Quinn ve Sigl, 1980).**

2.5.4. Ekran Faktörü

Radyografi filmine ulaşan radyasyon enerjisinin sadece az bir kısmı film tarafından soğurulabilir. "Ekran" adı verilen elmanlar kullanılarak filme gelen radyasyon enerjisinin büyük bir kısmının görüntü oluşumuna katkıda bulunması sağlanmaktadır **(Halmshaw, 1995).**

Ekranlar, genelde radyografi filminin iki tarafına yerleştirilen bir çift eleman olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 2.11'de ekranların yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2.11 Ekranların Yerleşiminin Şematik Gösterimi **(Bray ve Stanley, 1989).**

Radyografi filminin ön tarafına, bir başka deyişle, radyasyon kaynağına bakan kısmına yerleştirilen ekranlar "ön ekran" olarak adlandırılıp filme gelen radyasyonu güçlendirmektedirler **(Bulubay ve Tuğrul, 1998).** Bu güçlendirme, ön ekrana gelen fotonların fotoelektrik olay ve Compton saçılması yapmasıyla oluşan foto elektronların filmi etkilemesi şeklinde olmaktadır. Böylelikle filme gelen radyasyon,

1,5 - 2 kat artmaktadır. Bu bakımdan, ön ekranlar, kuvvetlendirici ekran olarak da adlandırılmaktadır.

Radyografi filminin diğer tarafına yerleştirilen ekranlar ise, "arka ekran" olarak adlandırılıp, etraftan saçılan radyasyonun film üzerindeki etkisini azaltmak üzere kullanılmaktadırlar. Ayrıca, arka ekranlar; ön ekranda oluşup, filmi geçen foto elektronların geri saçılıp, tekrar filmi etkilemesini de sağlamaktadırlar **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Metal ekran ve floresans ekran (tuz ekran) olmak üzere başlıca iki tip ekran bulunmaktadır. Endüstriyel radyografide, metal ekranlar ve bunların içinde de en yaygın olarak kurşun ekranlar kullanılmaktadır.

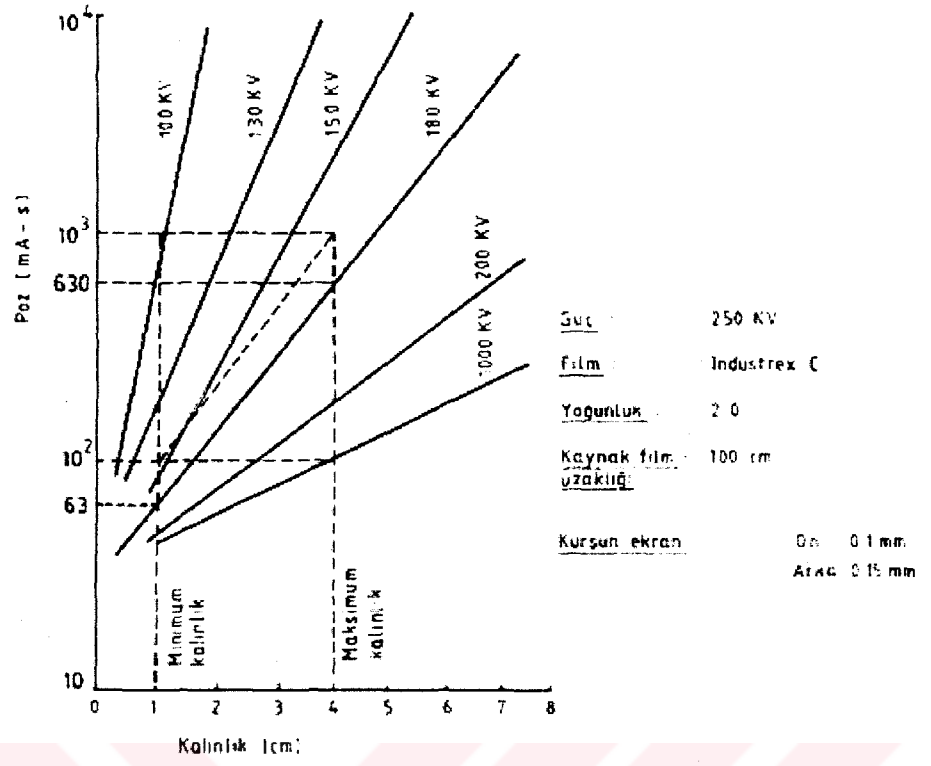
Kurşun ekranlar, genelde film ile temas halinde kullanılırlar ve film yoğunluğunu arttırarak poz süresini kısaltırlar. Floresans ekranlar ise daha çok tıpta kullanılmaktadır **(Bilge ve Tuğrul, 1990; Mix, 1987).**

2.5.5.Poz Süresi

Radyograf üzerinde istenen film yoğunluğunun elde edilmesi için radyografi çekilen malzemenin belli bir süre radyasyona maruz bırakılması gerekir ve bu süre "poz süresi (ışınlama süresi)" olarak adlandırılmaktadır. Poz süresi, radyografın kalitesine etki eden diğer dört faktör bulunduktan sonra hesaplanan önemli bir faktördür.

Poz süresini tayin etmek için çeşitli metotlar bulunmaktadır. Bunlar poz (ışınlama) tabloları veya grafikleri ile poz süresi tayini, deney metodu ile tayin ve kuramsal yöntemle poz süresi tayinidir. Bu metotlardan en yaygın kullanılanı ışınlama tablolarıdır.

Işınlama tablosu veya grafiği; malzeme kalınlığı, radyasyon enerjisi ve miktarı ile ışınlama arasındaki ilişkiyi gösterecek şekilde düzenlenmektedir. Şekil 2.12'de X-ışını ışınlamasına ilişkin bir poz grafiği görülmektedir **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 2.12 X-Işını İçin Poz Grafiği **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

Işınlama tabloları veya grafikleri, genellikle X-ışını cihazı üreticileri tarafından deneysel olarak oluşturulup yayınlanmaktadır. Işınlama tabloları veya grafikleri, üniform yüzeylerin radyografisinde poz sürelerini belirlemek için yeterli olmakla birlikte, kalınlığı değişen, karmaşık dökümler gibi numunelerin poz sürelerinin belirlenmesinde pek kullanışlı değildir **(Quinn ve Sigl, 1980).**

Şekil 2.12'de de görüldüğü gibi X-ışınları için ışınlama mA-s biriminde ifade edilmektedir. Gama ışınları için ise ışınlama Curie-saat birimindedir.

Işınlama tablolarından bulunan poz faktörünün aşağıdaki formülde kullanılmasıyla poz süresi hesaplanabilir.

$$t_p = \frac{P.D_1^2}{A} \qquad (2.10)$$

Burada; t_p: poz (ışınlama) süresi

P: poz faktörü

D_1: kaynak-film uzaklığı (cm)

A: radyoizotopun aktivitesi (Ci)

BÖLÜM 3

GÖRÜNTÜ KALİTE DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Radyografik Hassasiyet

Radyografik hassasiyet, radyografta görülebilen en küçük detayın boyutu olarak tanımlanmaktadır **(Quinn ve Sigl, 1980).** Bir başka deyişle, radyografik hassasiyet terimi, çoğu kez, malzemedeki süreksizlikler gibi detayları radyografın gösterme yeteneğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Eğer hayli küçük kusurlar detekte edilebiliyorsa radyografik görüntünün yüksek (veya iyi) hassasiyete sahip olduğu söylenir **(Halmshaw, 1995).**

Radyografik hassasiyet, penetremetre veya görüntü kalite göstergelerinin (GKG) kullanılmasıyla belirlenebilir. Penetremetre ve görüntü kalite göstergesi birbirinin yerine kullanılan terimler durumundadırlar **(Becker, 1990).**

Penetremetreler, genelde radyografisi çekilen malzeme ile aynı malzemeden yapılmış basit geometrik şekilli plakalar veya teller olup, kalınlıkları nesne kalınlığının belli bir oranıdır (normalde %2). Penetremetre radyografisi çekilecek malzemenin kaynak tarafına yerleştirilir.

Penetremetre kullanılmasıyla radyografik hassasiyet, kullanılan penetremetre cinsine göre;

$$S=\frac{\varepsilon}{x}.100 \qquad (3.1)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada ;

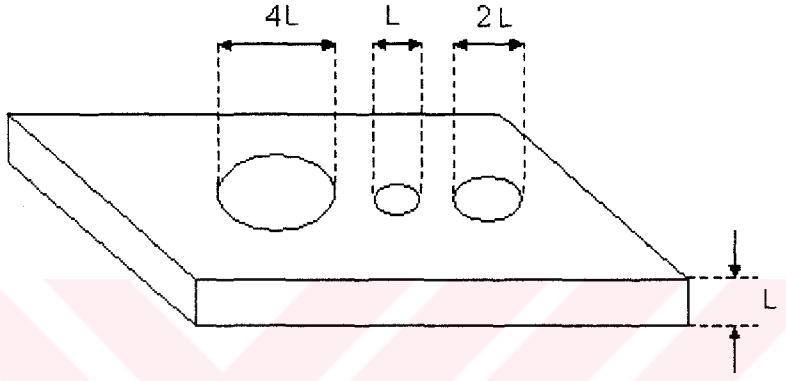
S : radyografik hassasiyet

ε : radyografta görülen in ince kalınlık / en ince tel çapı / en küçük delik çapı

x : malzeme kalınlığıdır.

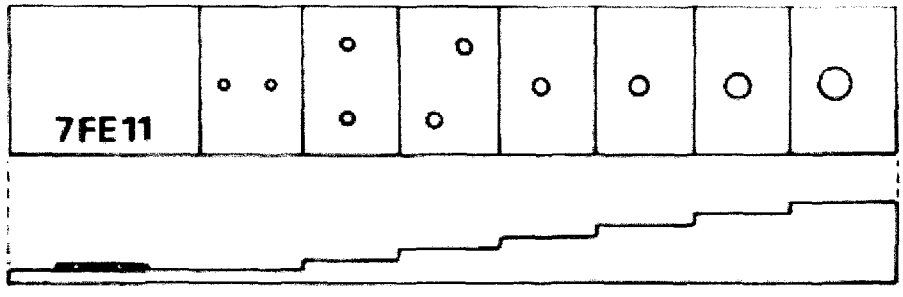
S değerinin küçük olması radyografik hassasiyetin iyi olduğunu göstermektedir. Radyografide yaygın kullanılan penetremetreler delikli, telli ve basamaklı penetremetredir.

Delikli penetremetreler, çapları penetremetre kalınlığı ile ilişkili olan birkaç (genelde üç) delik içeren küçük dikdörtgen metal parçasıdır. ASTM (American Society for Testing Materials) dizaynı delikli penetremetre, L penetremetre kalınlığı olmak üzere L, 2L ve 4L çapında üç delik içermektedir **(Quinn ve Sigl, 1980).** Delikli penetremetre şematik olarak Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 Delikli Penetremetre

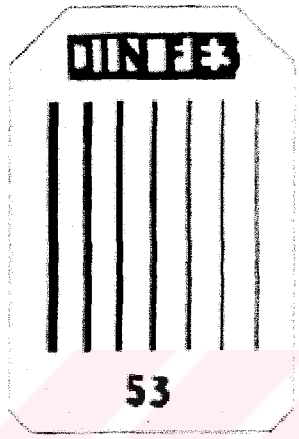
Basamaklı penetremetre farklı kalınlıktaki basamaklardan oluşan metal penetremetrelerdir **(Bilge, 1991).** Basmaklı penetremetrelerde numune ile aynı malzemeden üniform kalınlıklı bir dizi plaka ve bu plakaların her birinde bütün kalınlık boyunca açılmış bir yada iki delik bulunmaktadır. Bu deliklerin çapları plakaların kalınlıklarına eşittir. Basamaklı penetremetreye örnek, Şekil 3.2'de görülmektedir **(Halmshaw, 1995).**



Şekil 3.2 Basamaklı Penetremetre **(Halmshaw, 1991).**

Diğer bir penetremetre çeşidi olan telli penetremetreler Almanlar tarafından geliştirilmiş olup, Deutsche Industrie-Norm'un kısaltılmış şekli olan DIN standartları ile anılmaktadır **(Bilge, 1991).**

DIN penetremetreleri gerekli kimlik sembollerini taşıyan plastik zarfla kaplanmış çeşitli çaplarda birkaç telden oluşur. Şekil 3.3'te DIN 54109 normuna göre hazırlanmış telli penetremetre görülmektedir **(Quinn ve Sigl, 1980).**



Şekil 3.3 Telli Penetremetre (Alman Standardı DIN 54109) **(Quinn ve Sigl, 1980).**

DIN 54109 normunda en kalın tel çapı 3,2 mm olmak üzere, tel çapı geometrik olarak azalarak 0,1 mm'ye kadar düşen 16 adet tel bulunmaktadır. Bu tellere ait çap ve görüntü kalite numaraları Tablo 3.1'de verilmiştir **(Bilge ve Tuğrul, 1990).**

3.2. Radyografik Görüntüleme Sisteminin Rezolüsyonu

Radyografik görüntüleme sisteminin rezolüsyonu, birbirine son derece yakın olarak yerleşmiş küçük nesnelerin görüntülerini film üzerine ayrı ayrı kaydedebilme yeteneğidir **(Curry ve diğ., 1990).** Görüntü kalitesi ile yakından ilişkili bir kavramdır.

Rezolüsyon, tanım kavramıyla karıştırılmamalıdır. Tanım, diğer bir ifadeyle keskinlik veya netliktir. Bir başka deyişle, bir radyografik görüntüleme sisteminin keskin sınırları veya keskin kenarları ayırt edebilme yeteneğidir.

Bir radyografik görüntüleme sistemi, keskin kenarları kaydetme yeteneğine sahip iken, ince detayları ayırt etme yeteneğine sahip olmayabilir. Dolayısıyla tanım (keskinlik) ve rezolüsyon kavramları birbirinden farklıdır. Ancak, sonuçları bakımından birbiriyle ilgilidirler **(Bulubay, 1995).**

Rezolüsyon çizgisel dağılım fonksiyonu (LSF) ve modülasyon transfer fonksiyonu (MTF) hesaplanmasıyla ve bazı özel rezolüsyon test düzenekleri kullanılarak belirlenebilir **(Bulubay, 1995).**

Tablo 3.1
Telli Penetremetrelerin Tel Çapları **(Duman, 2000)**

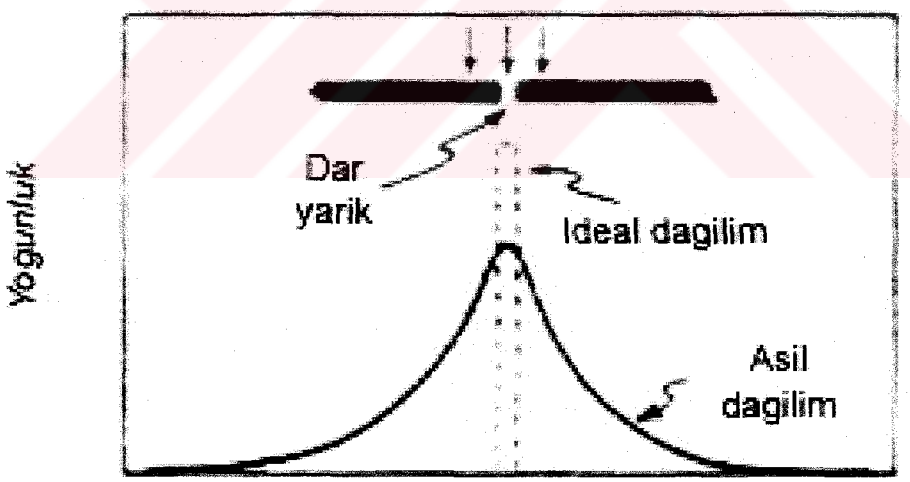
Görüntü Kalite No	**Tel Çapları (mm)**	**Tel Penetremetre No**
1	3,20	
2	2,50	
3	2,00	
4	1,60	**Penetremetre 1/7**
5	1,25	
6	1,00	
7	0,80	
8	0,63	
9	0,50	**Penetremetre 6/12**
10	0,40	
11	0,32	
12	0,25	
13	0,20	**Penetremetre 10/16**
14	0,16	
15	0,12	
16	0,10	

3.2.1. Çizgisel Dağılım Fonksiyonu

Çizgisel dağılım fonksiyonu, sonsuz dar ve sonsuz uzun bir yarığın, bir başka deyişle çizgisel bir kaynağın görüntüsündeki radyasyon şiddeti dağılımını göstermektedir. Çizgisel dağılım fonksiyonu (Line Spread Function-LSF), keskin bir kenarın görüntüsüyle ilgili olarak bulanıklılığın veya yarı gölgenin sayısal olarak tanımlanması amacıyla kullanılmaktadır.

Radyasyon demetinin iki metal arasında oluşturulan oldukça dar bir yarıktan geçirilmesiyle oluşan çizgi görüntü, film üzerine kaydedilirse film yoğunluk dağılımı Şekil 3.4'teki gibi olur **(Halmshaw, 1991).**

Mükemmel bir görüntüleme sisteminde film üzerinde söz konusu yarık genişliğinde bir çizgi oluşması beklenir. Oysa gerçekte gözlenen dağılım (çizgisel dağılım fonksiyonu) Şekil 3.4'te görüldüğü gibi ideal dağılımın iki yanından bir miktar yayılmış olarak görülür **(Johns ve Cunningham, 1983; Curry ve diğ., 1990).**



Şekil 3.4 Çizgisel Dağılım Fonksiyonu Eğrisi **(Johns ve Cunningham, 1983).**

Çizgisel dağılım fonksiyonu eğrisindeki yayılma, görüntü kenarlarındaki bulanıklık ve belirsizliğin derecesini vermektedir. Bir başka ifadeyle, bu yayılma, görüntünün aslına ne kadar uygun ve detaylı kaydedilebildiğini göstermektedir.

Çizgisel dağılım fonksiyonu eğrisindeki yayılmanın mertebesi veya LSF eğrisinin şekli, radyasyonun radyografik ekran ve film içindeki difüzyonuna ve saçılmasına, odak noktası boyutuna ve kaynağın enerjisine bağlıdır.

Pratikte yaygın olarak rezolüsyon, LSF eğrisinin yarı yüksekliğindeki tam genişlik (full width at half maximum-FWHM) olarak ifade edilmektedir. Ancak farklı çizgisel dağılım fonksiyonu eğrileri için yarı yükseklikteki tam genişlik aynı değerde olabileceğinden bu tam bir tanım değildir. Sadece, genel karşılaştırmalar için kullanılabilmektedir **(Akıncı, 1996; Şişman, 1992)**

3.2.2.Modülasyon Transfer Fonksiyonu

Modülasyon, bilgi taşıyan sinyalin genliğindeki (şiddetindeki veya miktarındaki) değişiklik olarak düşünülebilir. Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF) ise, radyografik görüntüleme sisteminin rezolüsyon ve keskinlik özelliklerinin ortak etkisinin objektif ölçümünü sağlamak amacıyla formülleştirilmiş bir kavramdır **(Curry ve diğ., 1990)**

Malzeme içindeki kalınlık veya yoğunluk değişiminden kaynaklanan radyasyon şiddet dağılımı (değişimi) görüntüdeki film yoğunluğu değişimini yaratmaktadır. Buradaki dönüşüme modülasyon adı verilmektedir **(Bulubay, 1995).**

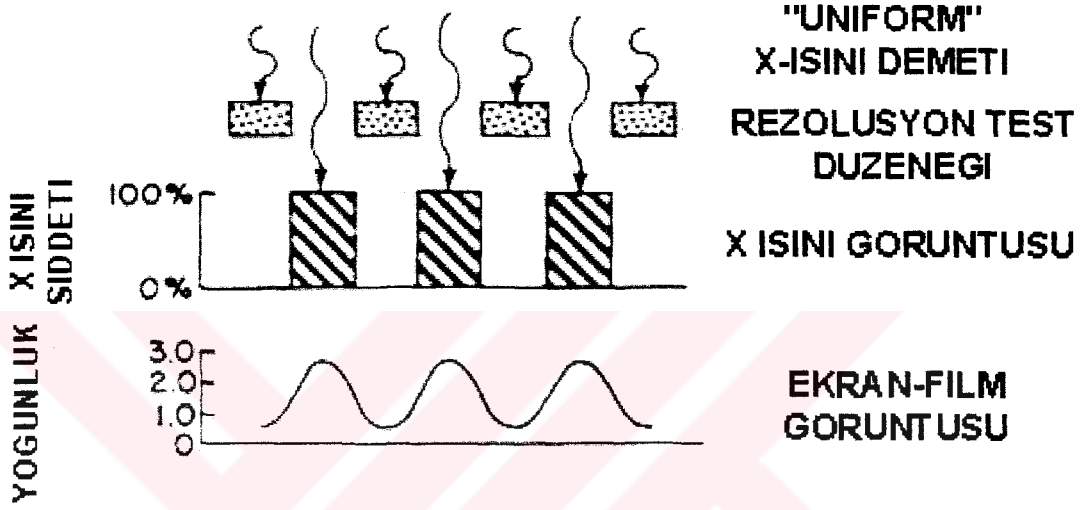
MTF, görülemeyen görüntüden deteksiyon sistemine (radyografi filmine) transfer edilen bilginin miktarını ölçme girişimidir. MTF, kaydedilen bilgi ve girişteki toplam bilgi arasındaki oranı ifade etmekte ve Denklem 3.2'deki gibi gösterilebilmektedir **(Curry ve diğ., 1990; Tobin ve diğ., 1989).**

$$\text{MTF} = \text{kaydedilen bilgi} / \text{girişteki bilgi} \qquad (3.2)$$

Sistemdeki kayıplar nedeniyle kaydedilen bilgi hiçbir zaman girişteki bilgiden daha büyük olamayacağı için MTF daima 1'den küçüktür **(Curry ve diğ., 1990).**

Radyografik görüntüleme sisteminin MTF'si, ya tamamen sinüzoidal dağılım sağlayan bir test düzeneği kullanılarak, yada sistemin çizisel dağılım fonksiyonunun bulunup, buna Fourier dönüşümü olarak bilinen matematiksel işlemlerin uygulanmasıyla tayin edilmektedir. Ancak, sinüzoidal test düzeneğinin elde edilmesi ve LSF'nin Fourier dönüşümü oldukça zordur **(Curry ve diğ., 1990; Akıncı, 1996).**

MTF'nin bulunmasında daha kullanışlı bir yöntem kare radyasyon dağılımı sağlayan düzeneklerin kullanılmasıdır. Bu yöntemde, kare dalga farklı frekanstaki çok sayıda sinüs dalgasının toplamı olarak ifade edilip Fourier analizi yapılmaktadır **(Bulubay, 1995; Johns ve Cunningham, 1983).** MTF'nin bulunması için radyasyona karşı opak, bir dizi metal çubuk ve boşluklardan oluşan bir rezolüsyon test düzeneği Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 Rezolüsyon Test Düzeneği **(Curry ve diğ., 1990).**

Şekil 3.5'teki rezolüsyon test düzeneğinin, radyografteki yoğunluk dağılımının, çelik çubuk kısımlarına karşılık gelen yerlerin ışınlanmamış film gibi ve boşluk kısımlarına karşı gelen yerlerin ise tamamen siyah olması beklenirdi. Başka bir ifadeyle, kararma yoğunluğu dağılımının kare dalga şeklinde olması beklenirdi. Ancak, ekran-film kombinasyonu kullanılmasıyla elde edilen radyografik yoğunluk dağılımı, ekranlardan oluşan saçılmalar sonucu Şekil 3.5'teki gibi sinüzoidal şekilde olmaktadır. **(Curry ve diğ., 1990).**

Şekil 3.5'dekine benzer ancak genişlikleri daralan metal şerit ve boşluklardan oluşan bir rezolüsyon test düzeneği göz önüne alalım. Birim uzunluk başına çizgi çifti sayısı ne kadar fazla olursa, ekran-film sistemine bilgi girişi de o kadar fazla oluyor anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, bilgi miktarı, milimetre başına çizgi çifti sayısı olarak ifade edilmektedir. Bilgi miktarı arttıkça, radyografta oluşan maksimum ve minimum kararma yoğunlukları arasındaki fark azalmaktadır. Sonunda, ekran film sistemi, çizgi ve boşluklar arasındaki kararma yoğunluk farkını göstermede yetersiz

kalır. Bu durum, sistemin, çizgi ve boşlukları ayrı ayrı kaydetme yeteneği olan rezolüsyonun sınırlı olduğunu göstermektedir **(Curry ve diğ., 1990).**

Görüntüleme sisteminin modülasyon transfer fonksiyonu, uzaysal frekansın fonksiyonu olarak ifade edilen, çıkış sinyali genliğinin giriş sinyali genliğine oranıdır. MTF bir oran olduğundan birimsizdir **(Huang, 1987; Johns ve Cunningham, 1983).**

Radyasyon şiddetinde sinüzoidal değişim oluşturan bir test düzeneği kullanıldığında, diğer bir ifadeyle, giriş sinyali sinüs dalgası şeklinde ise, bu sinyalin taşıdığı bilgi giriş modülasyonu olarak adlandırılmakta ve

$$M'(f) = \frac{\Psi'_{max} - \Psi'_{min}}{\Psi'_{max} + \Psi'_{min}} \qquad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada,

$M'(f)$: Giriş modülasyonu

Ψ'_{max} : Radyasyon şiddetindeki uzaysal dağılımın maksimum değeri

Ψ'_{min} :Radyasyon şiddetindeki uzaysal dağılımın minimum değeri

olarak tanımlanmaktadır.

Benzer şekilde,

Çıkış sinyalinin modülasyonu ise ;

$$M(f) = \frac{\Psi_{max} - \Psi_{min}}{\Psi_{max} + \Psi_{min}} \qquad (3.4)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Burada,

M(f): Çıkış modülasyonu

ψ_{max} : Radyografiaki film yoğunluğu dağılımının maksimum değeri

ψ_{min} : Radyografiaki film yoğunluğu dağılımının minimum değeri

olarak ifade edilmektedir.

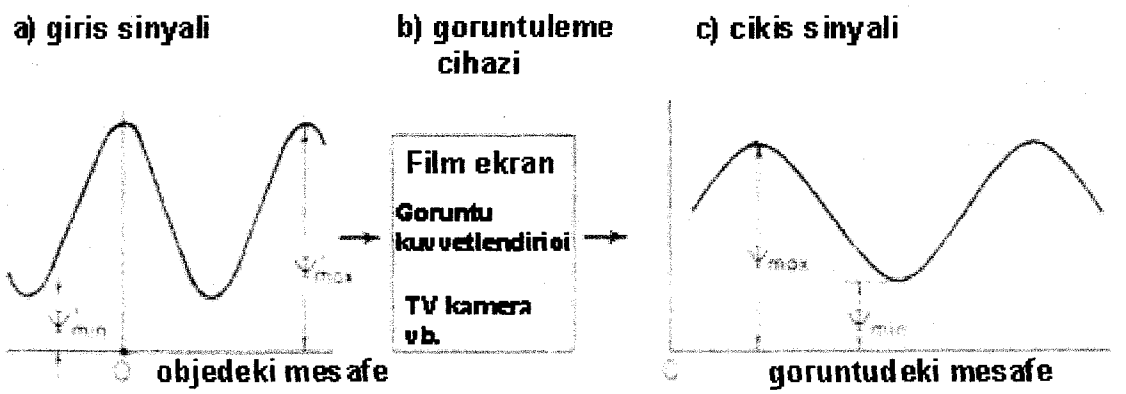
M ve M′ den daha önemli olan modülasyon transferi (MT) olarak ifade edilen M ve M′ oranıdır. Modülasyon transferi, sistem tarafından transfer edilen bilgiyi tanımlamakta ve

$$MT = \frac{M}{M'} \tag{3.5}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada M çıkış sinyali modülasyonunu ve M′ ise giriş sinyali modülasyonunu temsil etmektedir.

Genellikle, uzaysal frekans (f) küçük olduğunda MT maksimum değerini almaktadır **(Johns ve Cunningham, 1983).** Şekil 3.6'da görüldüğü gibi giriş sinyali modülasyona uğrayarak çıkış sinyaline dönüşmektedir.

Uzaysal sinüzoidal radyasyon şiddet dağılımı, bir başka deyişle sinüzoidal giriş sinyali elde edilmesi zor olduğundan sistem MTF' sinin ölçülmesi de zor olmaktadır. Bu durumda sinüzodal davranış göstermeyen düzenekler için MTF, çizgisel dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak bulunur **(Bulubay, 1995; Şişman, 1992).**



Şekil 3.6 Giriş Sinyali Modülasyonu (**Johns ve Cunningham, 1983).**

$\phi(x)$ çizgisel dağılım fonksiyonu ve f uzaysal frekans olmak üzere $\phi(x)$ in Fourier dönüşümünü alınarak MTF Denklem 3.6'daki gibi elde edilebilir.

$$MTF(f) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \cos 2\pi f x dx}{\int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) dx} \qquad (3.6)$$

Uzaysal koordinatlarda çizisel dağılım fonksiyonu, frekans uzayında modülasyon transfer fonksiyonuna dönüşmektedir.

Bir radyografik görüntünün sonsuz küçüklükte parçalara ayrıldığı kabul edilirse, bu durumda görüntünün uygun aralıkta pek çok çizgi çiftinden oluştuğu düşünülebilir. Böylece birim uzunluktaki çizgi çifti (çç) sayısı uzaysal frekans (çç/mm) olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f=1/2V \qquad (3.7)$$

Burada ,

f: uzaysal frekans

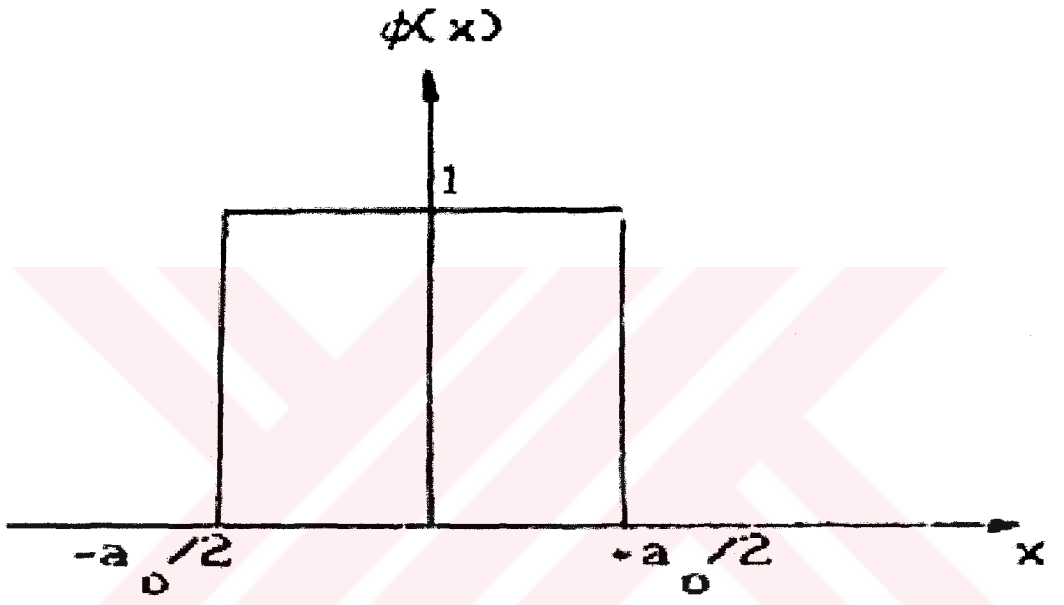
V: çizgi genişliği

olarak tanımlanır **(Johns ve Cunningham, 1983).**

Daha önce de belirtildiği gibi LSF' nin Fourier dönüşümü oldukça karmaşıktır. Bu nedenle kare dalga radyasyon dağılımı oluşturan bir düzenek kullanarak MTF'nin bulunması daha fazla tercih edilen bir yöntemdir. Ancak bu yolla MTF'nin bulunmasında da kare dalganın Fourier analizinin yapılması gerekir. Bu bakımdan çizgisel dağılım fonksiyonunu tanımlayan $\phi(x)$ fonksiyonunu düşünelim. $\phi(x)$'in Fourier dönüşümü **(Şişman, 1992);**

$$\phi(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \exp(-2\pi fix) dx \qquad (3.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 3.7'de kare radyasyon şiddet dağılımı görülmektedir.

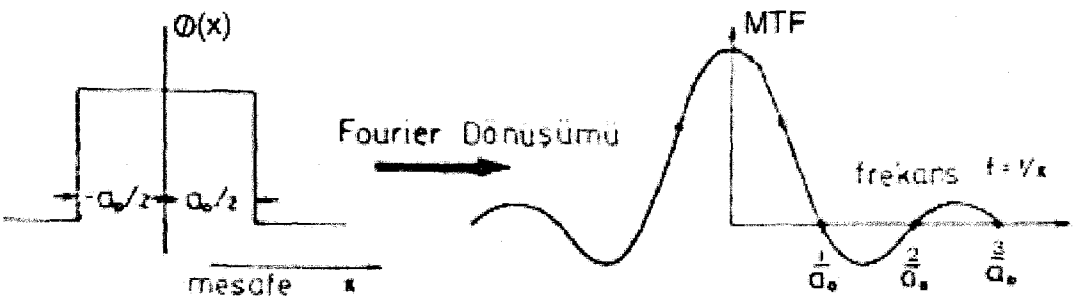


Şekil 3.7 Kare Dalga Şiddet Dağılımı

Şekil 3.7' deki kare dalga için ;

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & -a_0/2 \le x \le a_0/2 \\ 0 & x > |a_0/2| \end{cases} \qquad (3.9)$$

olduğu göz önüne alınıp Fourier dönüşümü yapılırsa Şekil 3.8'de görülen MTF eğrisi elde edilir.



Şekil 3.8 Kare Dalga ve Fourier Dönüşümü ile Elde Edilen MTF Eğrisi **(Johns ve Cunningham, 1983).**

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu Yüksek Lisans Tezinde X-ışını radyografi tekniğinde görüntü kalitesinin süreksizlik tayini bağlamında değerlendirilmesine ilişkin bir çalışma yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, bir dizi deney yapılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan X-Işını Kaynağının Tanıtımı

Süreksizlik tayini için yapılan deneylerde, Nükleer Enerji Enstitüsü Radyografi Laboratuarında bulunan Balteau marka endüstriyel X-ışını cihazı kullanılmıştır. Bu X-ışını cihazı, maksimum 300 kV ve 5 mA'de çalışabilen bir X-ışını tüpüdür. Deneyde kullanılan cihazın kumanda konsolu ve X-ışını tüpü Şekil 4.1. ve Şekil 4.2'de görülmektedir.

Şekil 4.1 X-ışını Cihazının Kumanda Konsolu

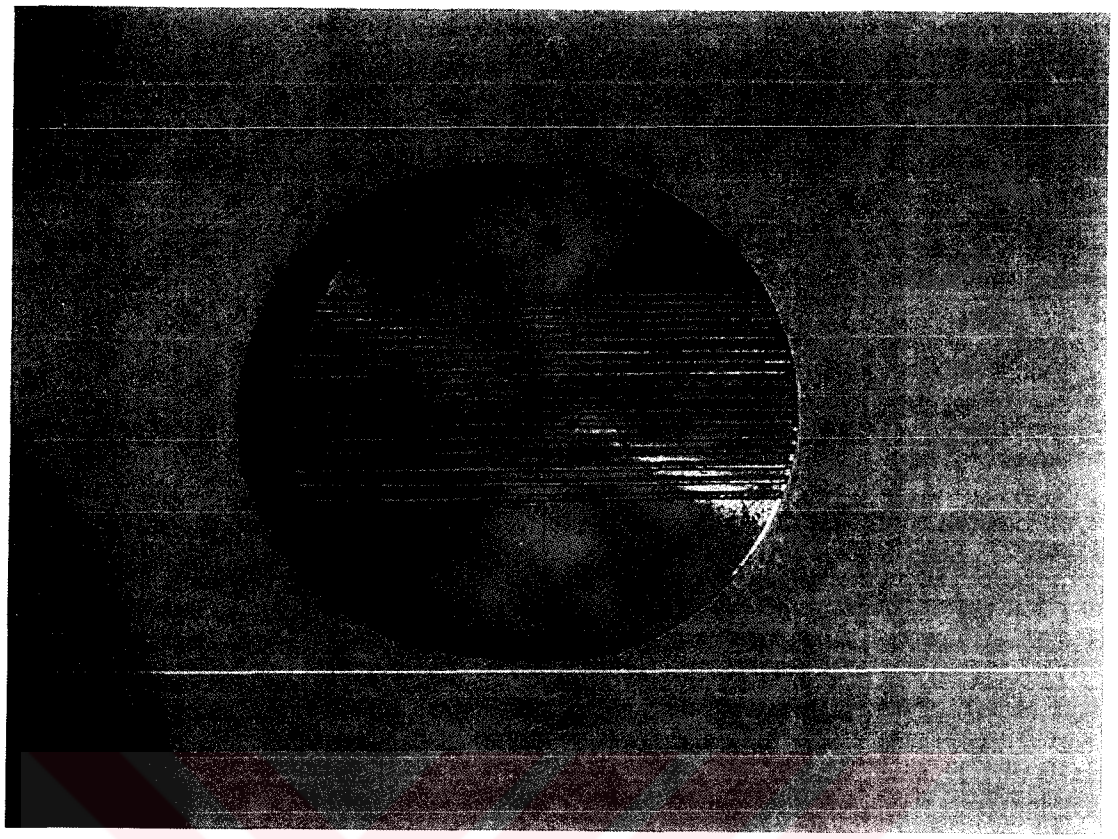
Şekil 4.2 X-ışını Tüpü

4.2. Deneyde Kullanılan Numunelerin Tanıtımı

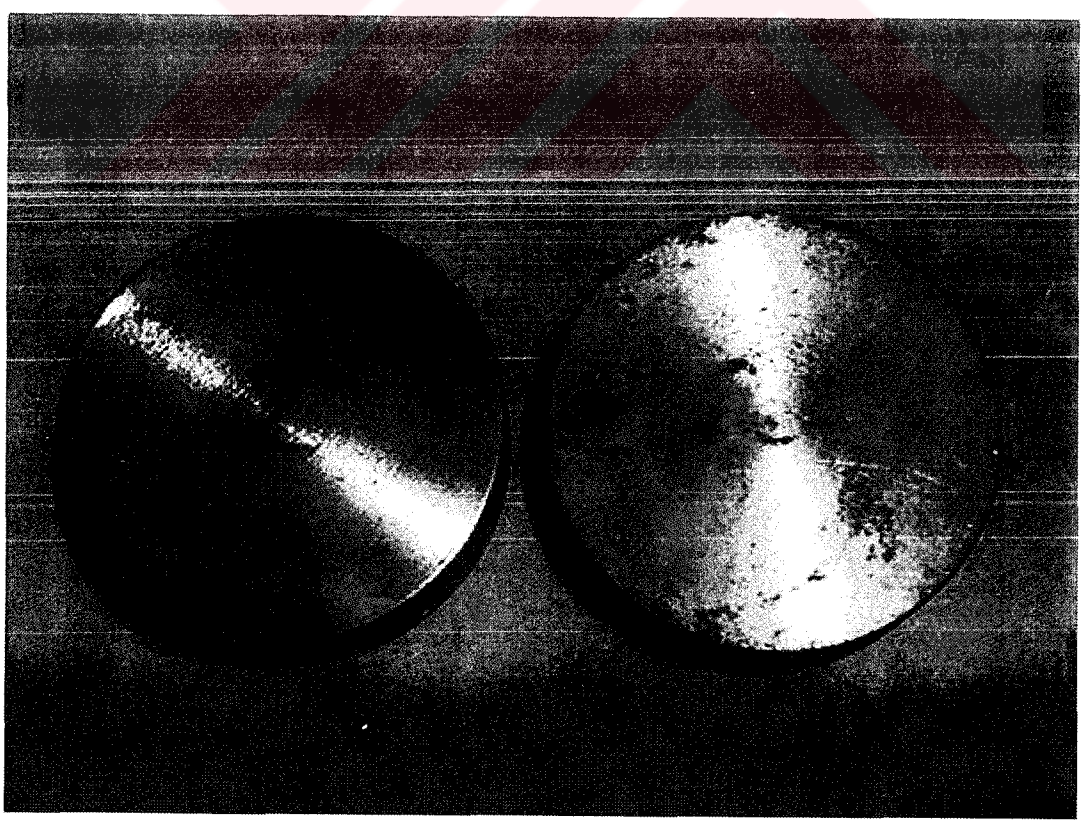
Deneyde, özel hazırlanmış olan numune parçalar kullanılmıştır. Numune parçalar, esas itibariyle farklı kalınlıklarda silindirik üç parçadır. Tüm parçalar, sıcak iş çeliğinden imal edilmiştir.

Bu numunelerden biri, 8 mm kalınlıkta ve 80 mm çapında silindirik bir bloktur. Bu silindirik blok üzerinde 0,7-1,2 mm arasında ve 0,1 mm kalınlık farkı ile artan ve her bir kalınlıktan ikişer eleman bulunan karesel kanallar bulunmaktadır. Böyle bir parça kullanımı ile süreksizliği lojik olarak temsil eden bir numune ile çalışılmış olmaktadır. Şekil 4.3'te kare kanallı numune parça görülmektedir.

Diğer iki numune ise 20 mm kalınlıkta ve yine 80 mm çapında olan silindirik bloklardır. Bu numunelerin üst üste dizilmeleriyle farklı kalınlıklı elemanlar elde edilebilmektedir. Şekil 4.4'te 20 mm kalınlıktaki silindirik blok numuneler görülmektedir.



Şekil 4.3 Kare Kanallı Numune Parça



Şekil 4.4 Deneyde Kullanılan Silindirik Blok Numuneler

4.3. Deney Geometrileri

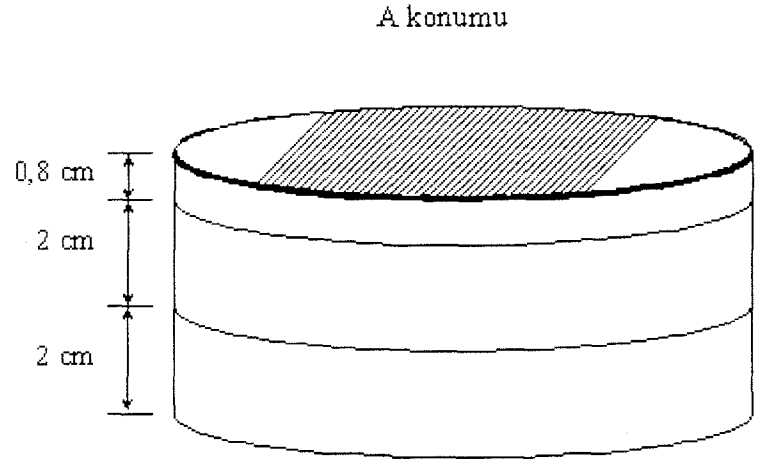
Deney için hazırlanan numune parçalarla farklı durumlara ilişkin deneyler yapılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, 8 mm kalınlıkta ve üzerinde kanallar bulunan numune parça diğer iki numune parçaya göre farklı sıralanışla konulduğunda, tabandan itibaren farklı yüksekliklerde bulunan süreksizlikleri temsil eden numuneler elde edilebilmiştir.

Deneyde, iki adet 20 mm kalınlıklı parça ile 8 mm kalınlıklı parçanın üst üste farklı dizilişte konulmalarıyla ve 8 mm kalınlıklı parçanın tek olarak kullanılmasıyla 12 kombinasyonel yerleşim elde edilmiştir. Söz konusu kombinasyonel yerleşime ilişkin detaylar Tablo 4.1'de verilmektedir.

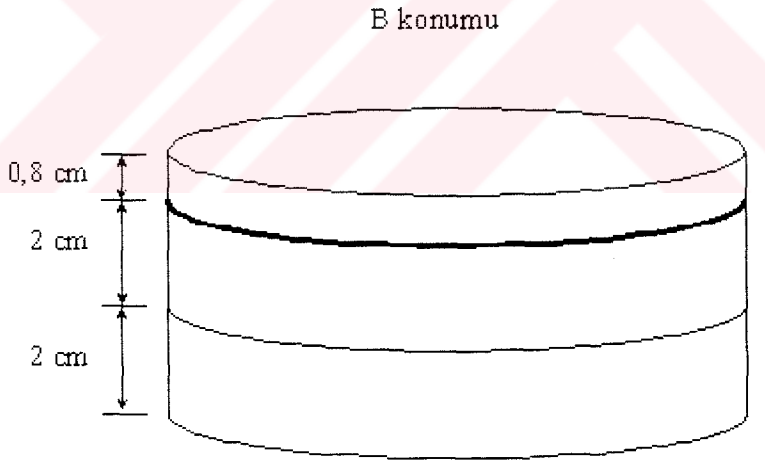
Tablo 4.1
Numune Parçaların Kombinasyonel Yerleşim Detayları

Yerleşim	**Silindirik Blok Sayısı**	**Süreksizlik Kanallarının Konumu (mm) (Film Yüzeyinden itibaren)**	**Toplam Numune Kalınlığı (mm)**
A konumu	2	48	48
B konumu	2	40	48
C konumu	2	28	48
D konumu	2	20	48
E konumu	2	8	48
F konumu	2	0	48
I konumu	1	28	28
J konumu	1	20	28
K konumu	1	8	28
L konumu	1	0	28
M konumu	0	8	8
N konumu	0	0	8

Çalışılan A konumu ve B konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da görülmektedir. Deney geometrilerinde koyu renkli olarak gösterilen kısımlar süreksizliklerin yerlerini göstermektedir.

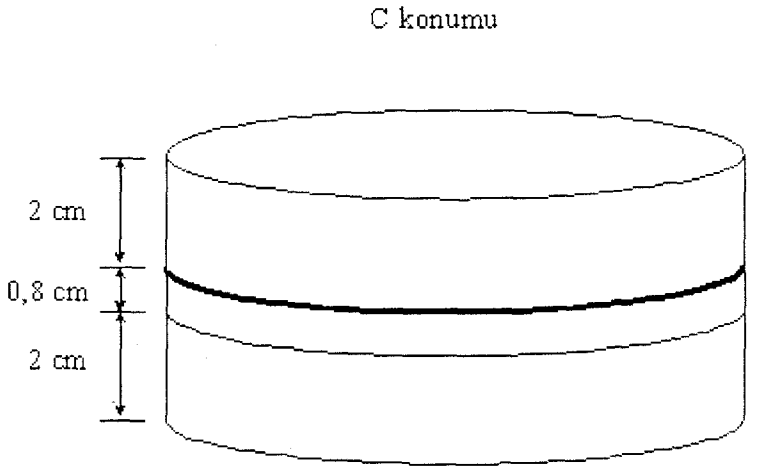


Şekil 4.5 Parçaların A Konumu Dizilişi

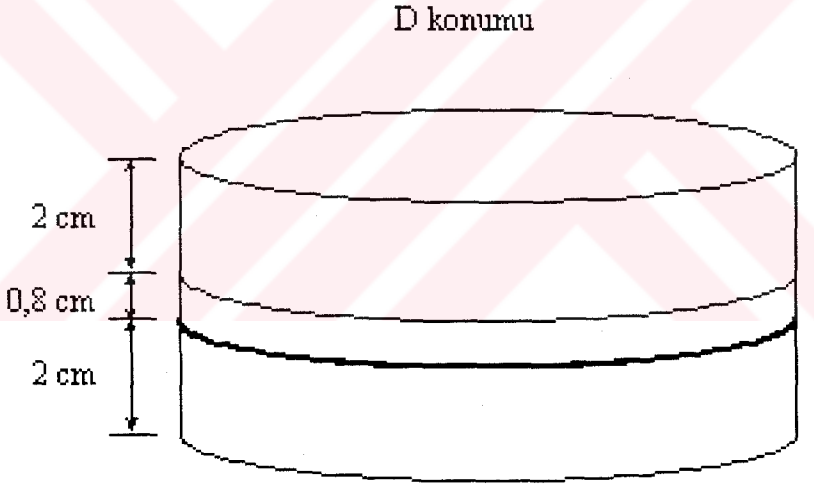


Şekil 4.6 Parçaların B Konumu Dizilişi

Çalışılan C konumu ve D konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de görülmektedir. Deney geometrilerinde koyu renkli olarak gösterilen kısımlar süreksizliklerin yerlerini göstermektedir.



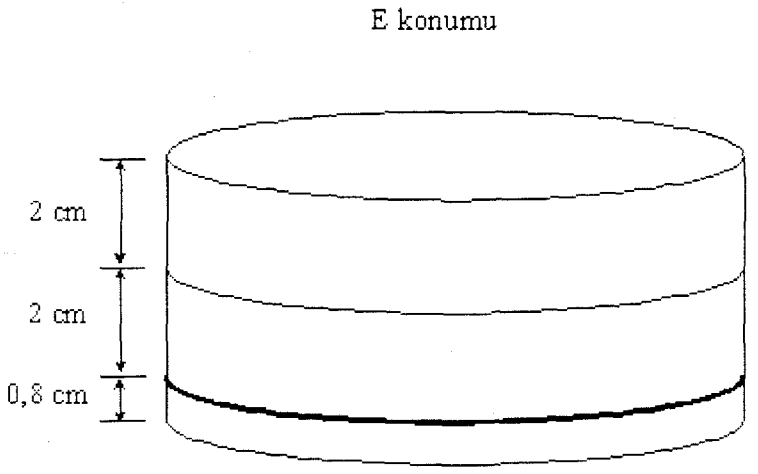
Şekil 4.7 Parçaların C Konumu Dizilişi



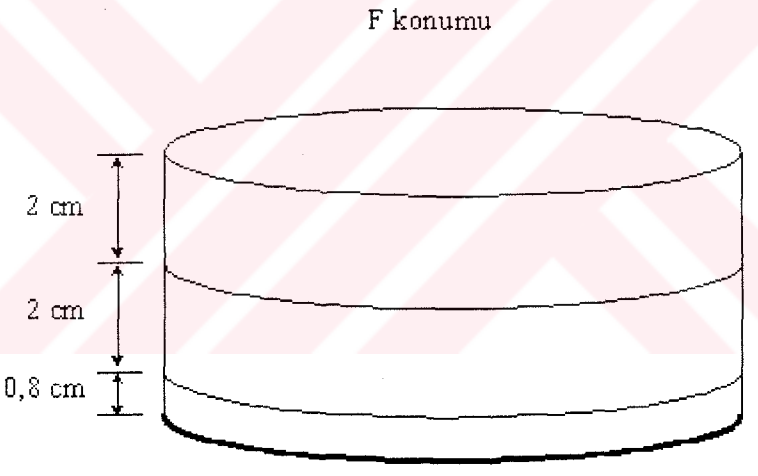
Şekil 4.8 Parçaların D Konumu Dizilişi

.

Çalışılan E konumu ve F konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülmektedir. Bu şekillerde koyu renkli olarak gösterilen kısımlar süreksizliklerin yerlerini göstermektedir.

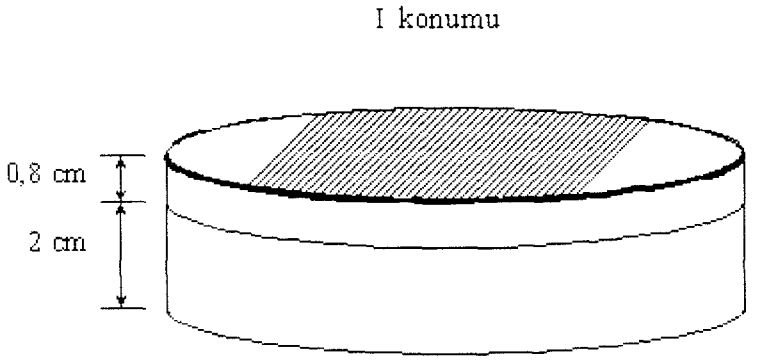


Şekil 4.9 Parçaların E Konumu Dizilişi

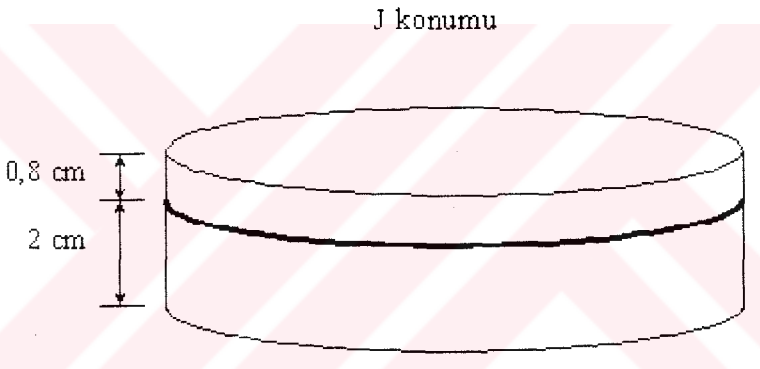


Şekil 4.10 Parçaların F Konumu Dizilişi

Çalışılan I konumu ve J konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görülmektedir. Söz konusu olan şekillerde koyu renkli olarak gösterilen kısımlar süreksizliklerin yerlerini göstermektedir.

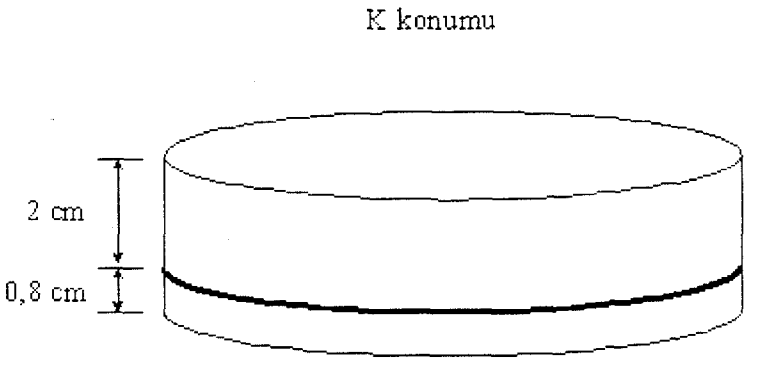


Şekil 4.11 Parçaların I Konumu Dizilişi

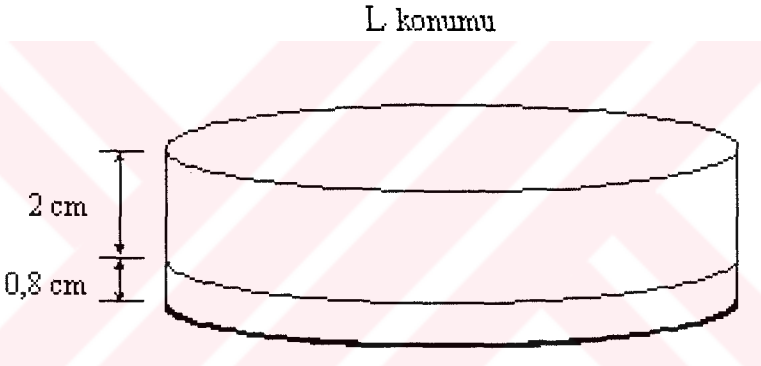


Şekil 4.12 Parçaların J Konumu Dizilişi

Çalışılan K konumu ve L konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te görülmektedir. Deney geometrilerinde koyu renkli olarak gösterilen kısımlar süreksizliklerin yerlerini temsil etmektedir.

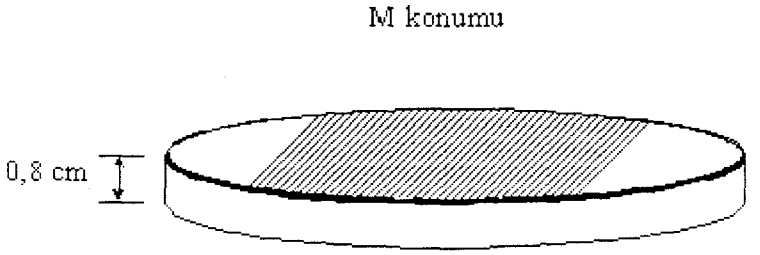


Şekil 4.13 Parçaların K Konumu Dizilişi

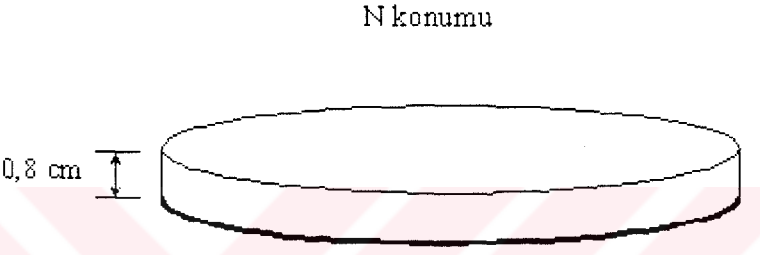


Şekil 4.14 Parçaların L Konumu Dizilişi

Çalışılan M konumu ve N konumu dizilişlerine ilişkin şematik gösterimler sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görülmektedir. Deney geometrilerindeki koyu renkli kısımlar süreksizliklerin yerlerini göstermektedir.



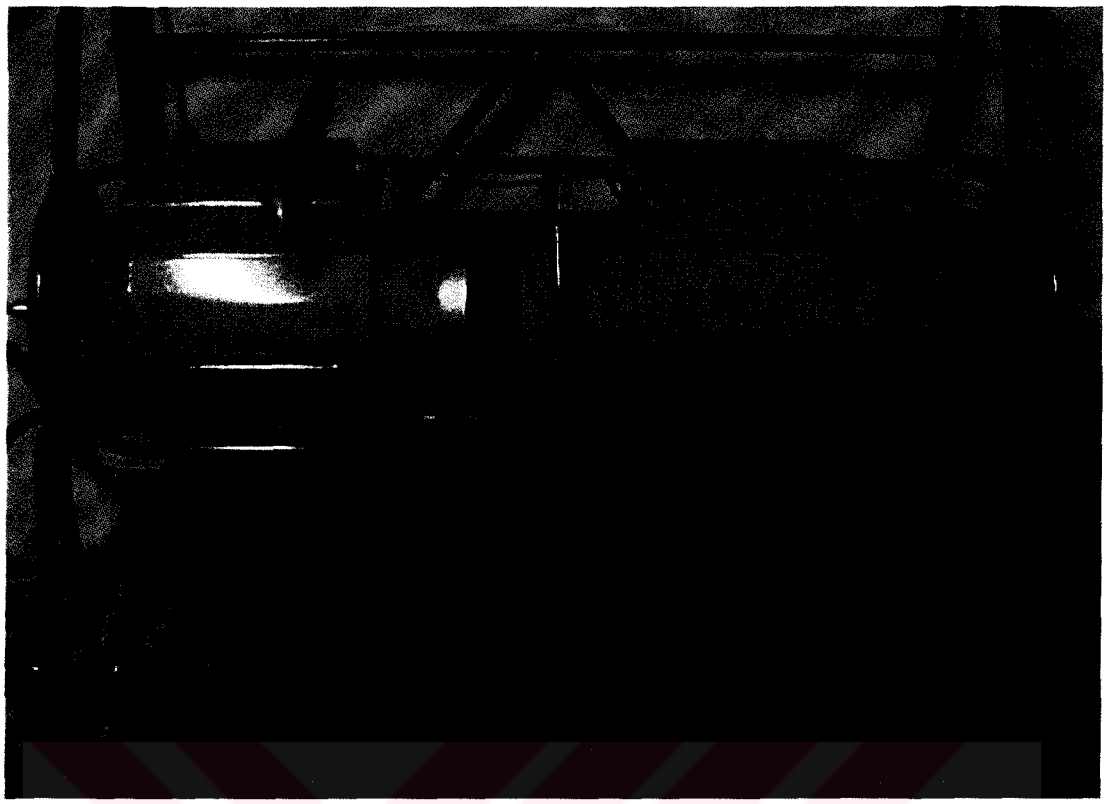
Şekil 4.15 Parçaların M Konumu Dizilişi



Şekil 4.16 Parçaların N Konumu Dizilişi

4.4. Deney Düzeneği

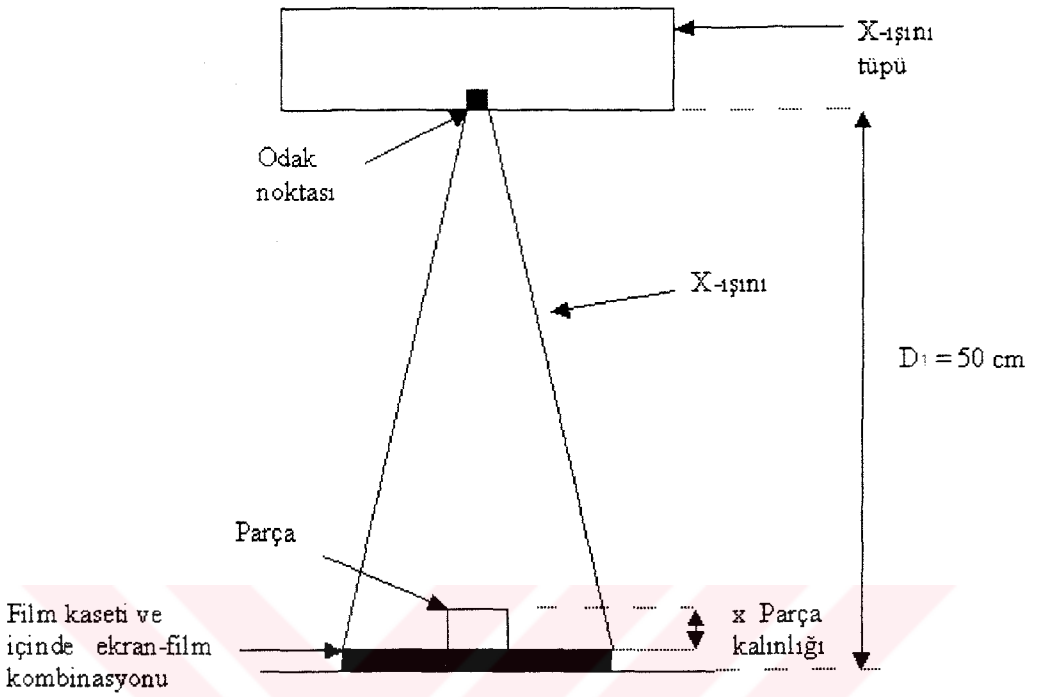
Radyografi çekimi yapılacak numune A, B, C, D, E, F, I, J, K, L, M ve N olarak adlandırılan deney geometrilerinden her birine göre X-ışını tüpünün odak noktasına göre merkezlenerek yerleştirilmiştir. Odak-film mesafesi, malzeme kalınlığının 8 katından az olmayacak şekilde numuneler film üzerine yerleştirilip radyografi çekimi gerçekleştirilmiştir. Söz konusu odak-film mesafesi 50 cm olarak belirlenmiştir. Belirlenen odak-film mesafesi yapılan tüm çekimlerde sabit tutulmuştur. Şekil 4.17'de radyografi ışınlama düzeneği ve Şekil 4.18'de de parça yerleşimi görülmektedir.



Şekil 4.17 Işınlama Düzeneği

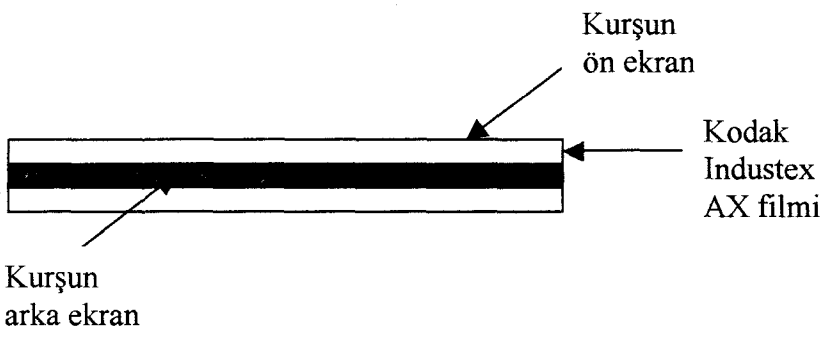
Şekil 4.18 Parça Yerleşimi

Işınlama düzeneği şematik olarak ise Şekil 4.19'da görülmektedir.



Şekil 4.19 Işınlama Düzeneğinin Şematik Gösterimi

Yapılan tüm radyografi çekimleri orta hızlı film olan Kodak Industrex AX filmi ve 0,125 mm kalınlığında kurşun folyo olan ön ve arka ekranlar kullanılarak gerçeklenmiştir. Radyografi filmi ekranlar arasına yerleştirilip, ışık sızdırmaz kasetler içine konularak çekime hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.20'de kaset içindeki film ve ekranlar şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.20 Kaset İçindeki Film ve Ekranların Yerleşimi

Deneyde ayrıca zeminden olabilecek saçılmaları azaltmak için film kasetinin altına da 2 mm kalınlıklı kurşun levha yerleştirilmiştir.

Radyografik hassasiyeti belirlemek için DIN 54109 normundaki penetremetrelerden numune kalınlığımıza uygun olarak 6-12 ve 10-16 telli penetremetreleri kullanılmıştır. Telli penetremetre, numunenin kaynağa bakan tarafına dolayısıyla numunenin üzerine ve süreksizlikleri temsil eden kanalların doğrultusuna dik olacak şekilde yerleştirilerek çekimler yapılmıştır.

Radyografi çekimi yapıldıktan sonra filmler, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsünde bulunan fotoğraf laboratuarında manual tipte kimyasallarla banyo edilmiştir. Banyo işlemi; geliştirme (developing), ara yıkama, tespit (fixing) ve yıkama aşamalarından oluşmaktadır. Tablo 4.2'de geliştirme ve tespit banyolarının hazırlanmasında kullanılan sıvıların ölçüleri verilmektedir.

Tablo 4.2
Geliştirme ve Tespit Banyosu Hazırlanışı

Banyo Tipi	**Kodak Industrex Manual Developer (geliştirici) veya Kodak Industrex Manual Fixer (tespit) (ml)**	**Su Miktarı (ml)**	**Toplam Banyo Miktarı (ml)**
Geliştirme	250	1250	1500
Tespit	500	2000	2500

Banyo işlemlerinin süreleri geliştirme ve tespit banyolarının sıcaklığına bağlı olmaktadır. Bu bakımdan çekilen radyograflar banyo edilmeden önce geliştirme ve tesbit banyolarının sıcaklığı ölçülüp banyo süreleri belirlenmiştir. Banyo işlemine ilişkin detay bilgiler Tablo 4.3' te verilmektedir.

Tablo 4.3

Banyo İşlemi Özellikleri

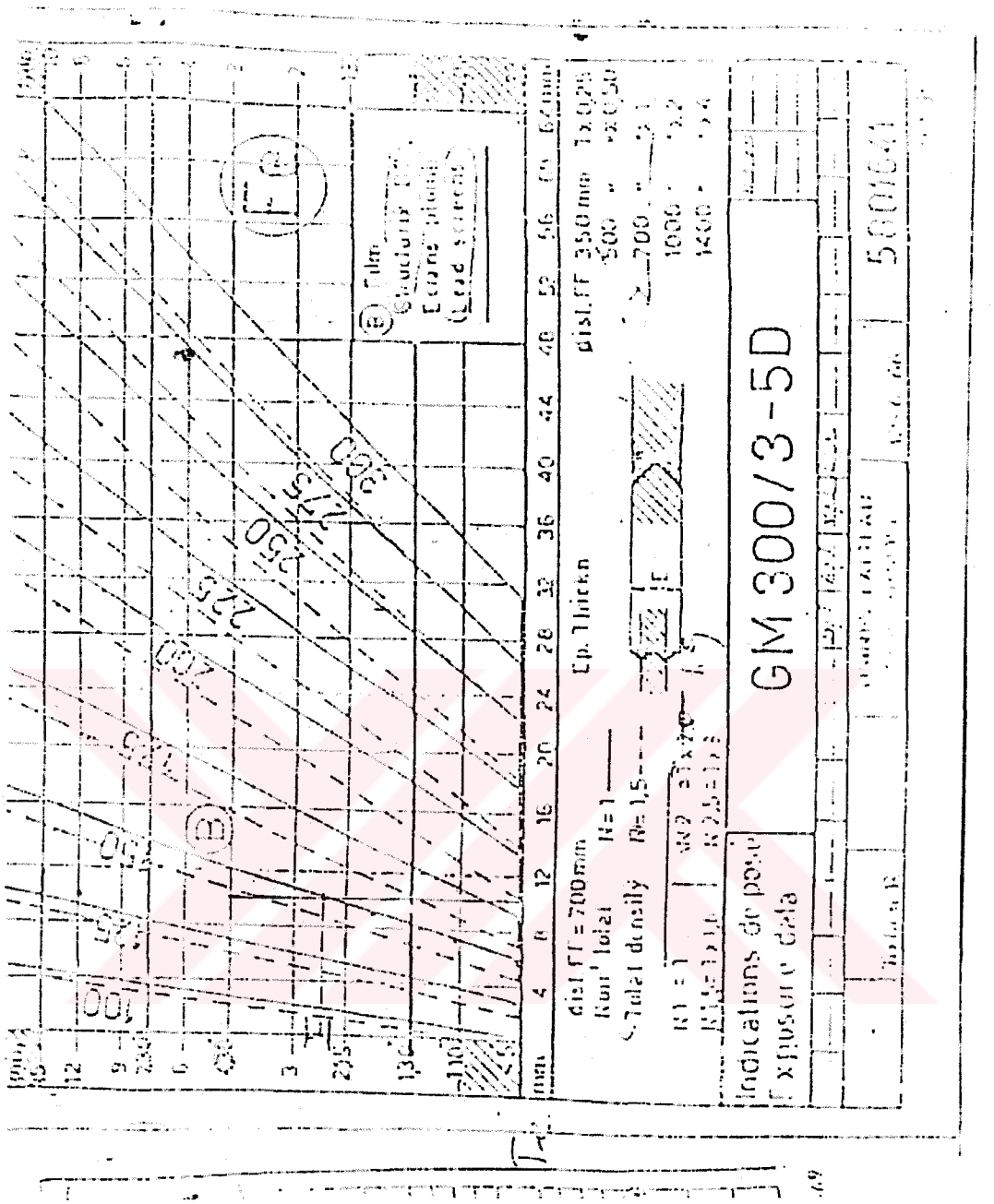
Banyo İşlemi	**Banyo Tipi**	**Banyo Süresi (dk) (Geliştirme Sıcaklığı 18 ^{0}C iken)**	**Banyo Süresi (dk) (Geliştirme Sıcaklığı 17 ^{0}C iken)**
Geliştirme	Kodak Industrex Manual Developer	5	5,5
Ara yıkama	Su	1	1
Tespit	Kodak Industrex Manual Fixer	10	10,5
Yıkama	Su	5	5

Banyo edilen radyografi filmlerinin kararma yoğunluğu densitometre ile ölçülmüştür. Densitometre fotografik yoğunlukları ölçmeye yarayan bir cihazdır. Yapılan deneylerde kullanılan densitometre Şekil 4.21'de görülmektedir. Densitometrenin kalibrasyonu yine Şekil 4.21'de görülen referans film ile yapılmıştır.

Şekil 4.21 Densitometre ve Referans Film

4.5. Deneylerin Yapılışı

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülmekte olan parçaların Tablo 4.1'de tanımlanan permütasyonel yerleşimlerine uygun olarak yerleştirilmeleri sonucu elde edilen numunenlerin radyografları çekilmiştir. Poz süresi belirlemesi Şekil 4.22'de görülen X-ışını poz grafiğinden yararlanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.22 X-ışını Poz Grafiği

Radyografi çekimleri üç farklı gerilim ve üç farklı akım değerlerinde permütasyonel olarak yapılmıştır. Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te sırasıyla 225 kV ve 250 kV'ta 3 farklı akımda yapılan radyografi çekimleri deney parametreleri görülmektedir.

Tablo 4.4
225 kV'taki Radyografi Çekimi Parametreleri

Konum	Çekim pozisyonu		Poz süresi	Gerilim (kV)	Akım (mA)
	Parça kalınlığı (cm)	Film yüzeyinden itibaren süreksizlik yeri (cm)			
A	4,8	4,8	60 dk	225	3
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	6 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	25 s		
N		0			
A	4,8	4,8	50 dk	225	4
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	5 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	21 s		
N		0			
A	4,8	4,8	43 dk	225	5
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	4 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	18 s		
N		0			

Tablo 4.5
250 kV'taki Radyografi Çekimi Parametreleri

Konum	Çekim pozisyonu		Poz süresi	Gerilim (kV)	Akım (mA)
	Parça kalınlığı (cm)	Film yüzeyinden itibaren süreksizlik yeri (cm)			
A	4,8	4,8	30 dk	250	3
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	5 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	20 s		
N		0			
A	4,8	4,8	25 dk	250	4
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	3 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	17 s		
N		0			
A	4,8	4,8	21 dk	250	5
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	2,5 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	14 s		
N		0			

Tablo 4.6'da 275 kV'ta gerçekleştirilen radyografi çekimleri deney parametreleri görülmektedir. 275 kV'taki bu çekimler yine 3 ayrı akım değerinde yapılmıştır.

Tablo 4.6
275 kV'taki Radyografi Çekimi Parametreleri

Konum	Çekim pozisyonu		Poz süresi	Gerilim (kV)	Akım (mA)
	Parça kalınlığı (cm)	Film yüzeyinden itibaren süreksizlik yeri (cm)			
A	4,8	4,8	25 dk	275	3
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	4 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	15 s		
N		0			
A	4,8	4,8	15 dk	275	4
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	2 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	13 s		
N		0			
A	4,8	4,8	12 dk	275	5
B		4			
C		2,8			
D		2			
E		0,8			
F		0			
I	2,8	2,8	1,5 dk		
J		2			
K		0,8			
L		0			
M	0,8	0,8	11 s		
N		0			

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI

X-ışını radyografisi ile süreksizlik tayini amacıyla yapılan deneylerde Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te görülen numune parçalar kullanılmıştır. Numune parçaların Bölüm 4'te şematik çizimleri (Şekil 4.5 – Şekil 4.16) verilen 12 farklı konumda X-ışını radyografi çekimleri yapılmıştır.

X-ışını radyografi çekiminde, kaynağa kumanda eden iki parametre olan akım ve gerilim değerlerinin değiştirilmesiyle radyografik çekimler tekrarlanarak gerçeklenmiştir. Bu bağlamda öncelikle gerilim sabit tutularak, akım değerleri değiştirilmiş (Tablo 4.4 – Tablo 4.6) ve daha sonra akım değerleri sabit tutulup gerilim değerleri değiştirilerek çekimler farklı kalınlık ve süreksizlik pozisyonları için yapılmıştır. Elde edilen radyografların kararma yoğunlukları densitometre yardımıyla ölçülmüştür. Aşağıdaki alt bölümlerde söz konusu radyografik çekim sonuçları ayrı ayrı verilmektedir.

5.1. Gerilim Sabit Tutularak Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

Kantite faktörü olan akımın etkisini görmek için numune parçaların 12 farklı konumunun radyografik çekimleri gerilim sabit olmak üzere 3 mA, 4 mA ve 5 mA akımlar için yapılmıştır

5.1.1. 225kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

5.1.1.1. 225 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

225 kV ve 3 mA'de farklı numune kalınlığı ve süreksizlik yeri pozisyonlarında (Tablo 4.4) X-ışını radyografi çekimleri yapılmış ve ilgili radyograflar elde edilmiştir. 225 kV ve 3 mA'de çekilen radyografların kararma yoğunlukları

Tablo 5.1'de verilmektedir. Ayrıca, yapılan radyografik çekimlerde parça kalınlığına uygun önerilen 54109 normunda 6-12 ve 10-16 (Fe) telli penetremetreleri kullanılarak radyograf üzerinde görülebilen en ince tel çapının belirlenmesiyle Denklem 3.1'den yararlanılarak radyografik hassasiyet tayini yapılmıştır. Elde edilen hassasiyet değerleri yine Tablo 5.1'de verilmektedir.

Tablo 5.1

225 kV ve 3 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 225 kV , Akım : 3 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	60 dk	0,40 – 0,50	0,833 – 1,313	2,11 – 2,43
2,8	I, J K, L	6 dk	0,32	1,143	2,04 – 2,14
0,8	M, N	25 s	0,25	0,313	2,82 – 2,99

Tablo 5.1'de, 225 kV ve 3 mA'de yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında olduğu ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen radyografların standartlara uygun olduğu söylenebilir.

5.1.1.2. 225 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

Gerilim 225 kV'ta sabit olmak üzere 4 mA akımda 12 farklı süreksizlik konumu için radyografi çekimleri yapılmıştır. Yapılan çekimler sonucu radyograflarda görülebilen en ince tel çapının belirlenip Denklem 3.1'in kullanılmasıyla elde edilen hassasiyet ve densitometre ile ölçülen film kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2

225 kV ve 4 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 225 kV , Akım : 4 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	50 dk	0,40 – 0,50	0,833 – 1,042	2,40 – 2,61
2,8	I, J K, L	5 dk	0,32 – 0,40	1,143 – 1,429	2,40 – 2,77
0,8	M, N	21 s	0,20 – 0,25	0,25 – 0,313	2,85 – 2,92

Yapılan radyografik çekimler sonucu elde edilen radyograflara ait kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında olduğu ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda elde edilen radyografların standartlara uygun olduğu görülmektedir.

5.1.1.3. 225 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

Gerilim 225 kV'ta sabit olmak üzere, 5 mA akım değerinde 12 farklı süreksizlik konumu için radyografi çekimleri yapılmış ve bu çekimler sonucunda elde edilen radyografiara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3

225 kV ve 5 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 225 kV , Akım : 5 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	43 dk	0,40 – 0,50	0,833 – 1,042	2,67 – 2,86
2,8	I, J K, L	4 dk	0,32 – 0,40	1,143 – 1,429	2,45 – 2,92
0,8	M, N	18 s	0,25	0,313	2,74 – 2,81

Tablo 5.3'te, 225 kV gerilim ve 5 mA akım değerlerinde yapılan radyografik çekimler sonucu elde edilen radyografların kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında olduğu ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir.

5.1.2. 250 kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

5.1.2.1. 250 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

250 kV gerilim ve 3 mA akım değerinde 12 farklı konum için radyografi çekimleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çekimler sonucunda elde edilen radyograflara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.4'te verilmektedir.

Tablo 5.4

250 kV ve 3 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 250 kV , Akım : 3 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	30 dk	0,32 – 0,40	0,667 – 0,833	2,22 – 2,30
2,8	I, J K, L	5 dk	0,32 – 0,40	1,143 – 1,429	2,02 – 2,90
0,8	M, N	20 s	0,25	0,313	2,87 – 2,99

Tablo 5.4'te 250 kV ve 3 mA'de yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen radyografların kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 arasında ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen radyografların standartlara uygun olduğu söylenebilir.

5.1.2.2. 250 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

250 kV gerilim ve 4 mA akım değerlerinde 12 farklı süreksizlik konumu için radyografi çekimleri yapılmıştır. Yapılan bu çekimler sonucunda elde edilen radyografiara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.5'te verilmektedir.

Tablo 5.5

250 kV ve 4 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 250 kV , Akım : 4 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	25 dk	0,40 – 0,63	0,833 – 1,313	2,57 – 2,74
2,8	I, J K, L	3 dk	0,32 – 0,40	1,143 – 1,429	2,58 – 2,96
0,8	M, N	17 s	0,25 – 0,32	0,313 – 0,4	2,95 – 3,08

Tablo 5.5'te kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında ve hassasiyetlerin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen radyografların standartlara uygun olduğu söylenebilir.

5.1.2.3. 250 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

250 kV gerilim ve 5 mA akımda 12 farklı konum için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyograflara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.6

250 kV ve 5 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 250 kV , Akım : 5 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	21 dk	0,32 – 0,50	0,667 – 1,143	2,80 – 3,07
2,8	I, J K, L	2,5 dk	0,32 – 0,50	1,143 – 1,786	2,58 – 3,01
0,8	M, N	14 s	0,20 – 0,32	0,25 – 0,4	2,89 – 2,92

Tablo 5.6'da kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında ve hassasiyetlerin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda elde edilen radyograflar standartlara uygundurlar.

5.1.3. 275 kV Sabit Gerilim Değerinde Akım Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

5.1.3.1. 275 kV Sabit Gerilim ve 3 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

275 kV ve 3 mA'de gerçekleştirilen radyografi çekimleri sonucunda elde edilen radyograflara ait hassasiyet değerleri Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanarak Tablo 5.7'de verilmiştir. Kararma yoğunlukları ise densitometre ile ölçülüp yine Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7

275 kV ve 3 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 275 kV , Akım : 3 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	25 dk	0,40 – 0,63	0,833 – 1,313	2,06 – 2,48
2,8	I, J K, L	4 dk	0,32	1,143	2,27 – 2,66
0,8	M, N	15 s	0,25	0,313	2,47 – 2,63

275 kV ve 3 mA'de gerçekleştirilen çekimler sonucunda elde edilen radyografların kararma yoğunluklarının 2 – 3,5 değerleri arasında ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu Tablo 5.7'de görülmektedir. Böylelikle yapılan çekimler sonucu elde edilen radyografların standartlara uygun olduğu görülmektedir.

5.1.3.2. 275 kV Sabit Gerilim ve 4 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

275 kV gerilim ve 4 mA akım değerlerinde radyografi çekimleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çekimler sonucunda elde edilen radyograflara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.8'de verilmektedir.

Tablo 5.8

275 kV ve 4 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 275 kV , Akım : 4 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	15 dk	0,40 – 0,80	0,833 – 1,667	2,41 – 2,65
2,8	I, J K, L	2 dk	0,32 – 0,50	1,143 – 1,429	2,56 – 2,98
0,8	M, N	13 s	0,25 – 0,32	0,313 – 0,4	2,66 – 2,76

275 kV gerilim ve 4 mA akımda gerçekleştirilen radyografik çekimlerin sonucunda hassasiyetlerin % 2'den küçük ve kararma yoğunluklarının da 2 - 3,5 değerleri arasında olduğu Tablo 5.8'de görülmektedir. Böylece standartlara uygun radyograflar elde edilmiştir.

5.1.3.3. 275 kV Sabit Gerilim ve 5 mA Akım Değerlerinde Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

Gerilim 275 kV olmak üzere 5 mA akımda gerçekleştirilen radyografi çekimleri sonucunda elde edilen radyograflara ait hassasiyet ve kararma yoğunluğu değerleri Tablo 5.9'da verilmektedir.

Tablo 5.9

275 kV ve 5 mA'de Yapılan Radyografik Çekimlerin Sonuçları

Gerilim : 275 kV , Akım : 5 mA					
Parça kalınlığı (cm)	Çekim konumu	Poz süresi	Görülen en ince tel çapı (mm)	Hassasiyet (%)	Kararma yoğunluğu
4,8	A, B, C D, E, F	12 dk	0,63 – 0,80	1,313 – 1,667	2,35 – 3,02
2,8	I, J K, L	1,5 dk	0,32 – 0,50	1,143 – 1,786	2,42 – 2,96
0,8	M, N	11 s	0,20 – 0,25	0,313	2,74 – 2,76

Tablo 5.9'da kararma yoğunluklarının 2 - 3,5 değerleri arasında ve hassasiyet değerlerinin de % 2'den küçük olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yapılan çekimler sonucunda radyografların standartlara uygun olarak elde edildiği söylenebilir.

5.2. Akım Sabit Tutularak Gerilim Değerlerinin Değiştirilmesiyle Yapılan Radyografik Deney Sonuçları

Kalite faktörü olan gerilimin etkisini görmek için numune parçaların 12 farklı konumunun radyografik çekimleri akım sabit olmak üzere 225 kV, 250 kV ve 275kV gerilimler için yapılmıştır. Farklı süreksizlik konumları için yapılan çekim sonuçları alınmıştır. 3 mA sabit akım değerinde ve sırasıyla 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde yapılan deney sonuçları sırasıyla Tablo 5.1, Tablo 5.4 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.

Benzer şekilde, 4 mA akım değerinde ve sırasıyla 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde yapılan deney sonuçları sırasıyla Tablo 5.2, Tablo 5.5 ve Tablo 5.8' de verilmiştir. Yine benzer şekilde, 5 mA akım değerinde ve sırasıyla 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde yapılan deney sonuçları sırasıyla Tablo 5.3, Tablo 5.6 ve Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tüm bu tablolardan görüldüğü üzere radyografik çekim hassasiyetleri % 2'nin altında ve film kararma yoğunlukları 2 - 3,5 arasındadır. Bu bağlamda, yapılan radyografik çekimlerin standartlara göre uygun çekimler olduğu görülmektedir.

5.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırmalı Değerlendirmeleri

Yapılan deneyler sonucunda her bir süreksizlik konumu için görülebilen tüm çizgi çiftlerine karşılık modülasyon transferi değerleri Denklem 3.5'den, frekans değerleri de Denklem 3.7'den yararlanılarak tayin edilmiştir.

Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de sırasıyla 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların 225 kV ve 3 mA'de yapılan rayografi çekimleri sonucunda elde edilen frekans ve modülasyon transferi değerleri görülmektedir.

Tablo 5.10

225 kV ve 3 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 3 mA , Poz süresi: 60 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,588235	0,708333
	0,666667	0,681818
	0,793651	0,630000
	1,111111	0,500000
	1,250000	0,500000
	1,428571	0,500000
4 (B konumu)	0,574713	0,725000
	0,641026	0,709091
	0,769231	0,650000
	0,943396	0,588889
	1,111111	0,562500
	1,250000	0,571429
2,8 (C konumu)	0,555556	0,750000
	0,625000	0,727273
	0,714286	0,700000
	0,909091	0,611111
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571429
2 (D konumu)	0,537634	0,775000
	0,588235	0,772727
	0,666667	0,750000
	0,833333	0,666667
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
0,8 (E konumu)	0,526316	0,791667
	0,574713	0,790909
	0,649351	0,770000
	0,793651	0,700000
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
0 (F konumu)	0,526316	0,791667
	0,574713	0,790909
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,909091	0,687500
	1,000000	0,714286

Tablo 5.11

225 kV ve 3 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 3 mA , Poz süresi: 6 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,588235	0,708333
	0,769231	0,590909
	0,909091	0,550000
	1,111111	0,500000
	1,250000	0,500000
	1,428571	0,500000
2 (J konumu)	0,574713	0,725000
	0,714286	0,636364
	0,833333	0,600000
	0,943396	0,588889
	1,111111	0,562500
	1,250000	0,571429
0,8 (K konumu)	0,555556	0,750000
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,877193	0,633333
	1,00000	0,625000
	1,162791	0,614286
0 (L konumu)	0,555556	0,750000
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,877193	0,633333
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286

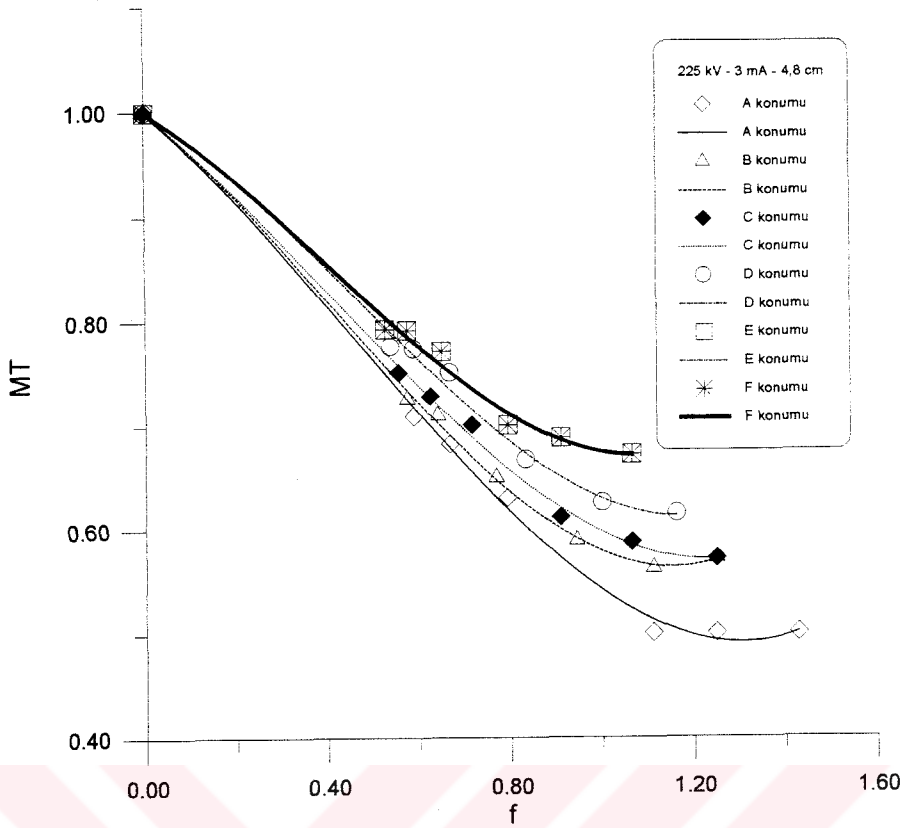
0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik konumu için 225 kV ve 3 mA'de yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen frekans ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.12'de görülmektedir.

Tablo 5.12

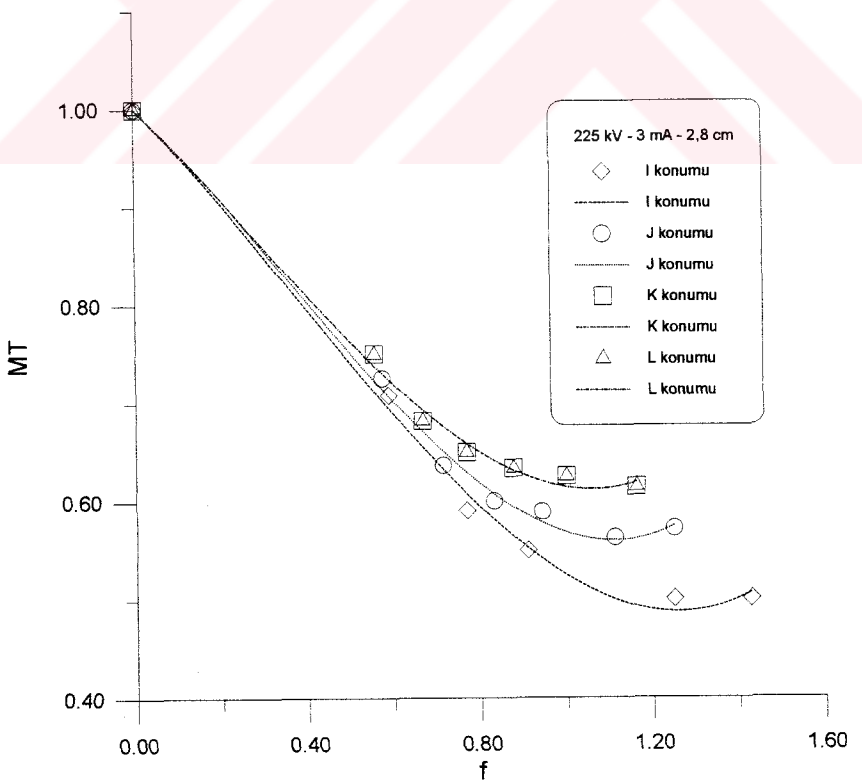
225 kV ve 3 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 3 mA , Poz süresi: 25 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,588235	0,708333
	0,666667	0,681818
	0,909091	0,550000
	1,111111	0,500000
	1,250000	0,500000
	1,428571	0,500000
0 (N konumu)	0,588235	0,708333
	0,666667	0,681818
	0,909091	0,550000
	1,111111	0,500000
	1,250000	0,500000
	1,428571	0,500000

225 kV ve 3 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.10 ve Tablo 5.11) elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görülmektedir.

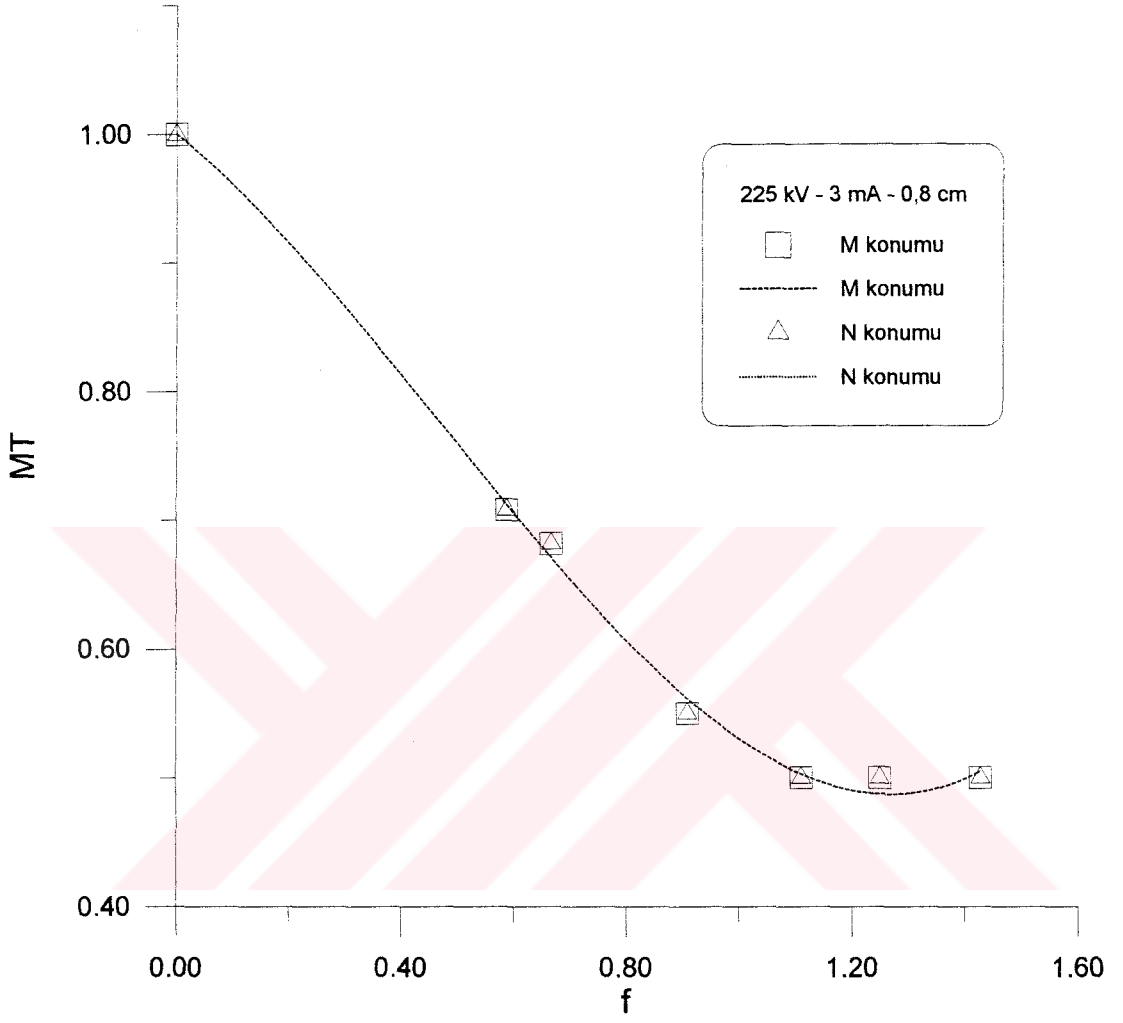


Şekil 5.1 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV – 3 mA'de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.2 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV – 3 mA'de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

225 kV ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.12) yararlanılarak çizilen grafik Şekil 5.3'te görülmektedir.



Şekil 5.3 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 3mA'de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

Tablo 5.13 ve Tablo 5.14'te sırasıyla 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların 225 kV ve 4 mA'de yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen modülasyon transferi ve frekans değerleri görülmektedir.

Tablo 5.13

225 kV ve 4 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 4 mA , Poz süresi: 50 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,555556	0,750000
	0,625000	0,727273
	0,769231	0,650000
	0,943396	0,588889
	1,063830	0,587500
4 (B konumu)	0,537634	0,775000
	0,588235	0,772727
	0,714286	0,700000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
2,8 (C konumu)	0,526316	0,791667
	0,555556	0,818182
	0,666667	0,750000
	0,833333	0,666667
	0,943396	0,662500
2 (D konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
0,8 (E konumu)	0,476190	0,875000
	0,526316	0,863636
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,714286
0 (F konumu)	0,476190	0,880000
	0,515464	0,881818
	0,588235	0,850000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	0,961538	0,742857

Tablo 5.14

225 kV ve 4 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 4 mA , Poz süresi: 5 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,555556	0,750000
	0,714286	0,636364
	0,833333	0,600000
	0,943396	0,588889
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571429
2 (J konumu)	0,526316	0,791667
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,877193	0,633333
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
0,8 (K konumu)	0,500000	0,833333
	0,625000	0,727273
	0,714286	0,700000
	0,769231	0,722222
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
0 (L konumu)	0,476190	0,875000
	0,588235	0,772727
	0,666667	0,750000
	0,746269	0,744444
	0,862069	0,725000
	1,000000	0,714286

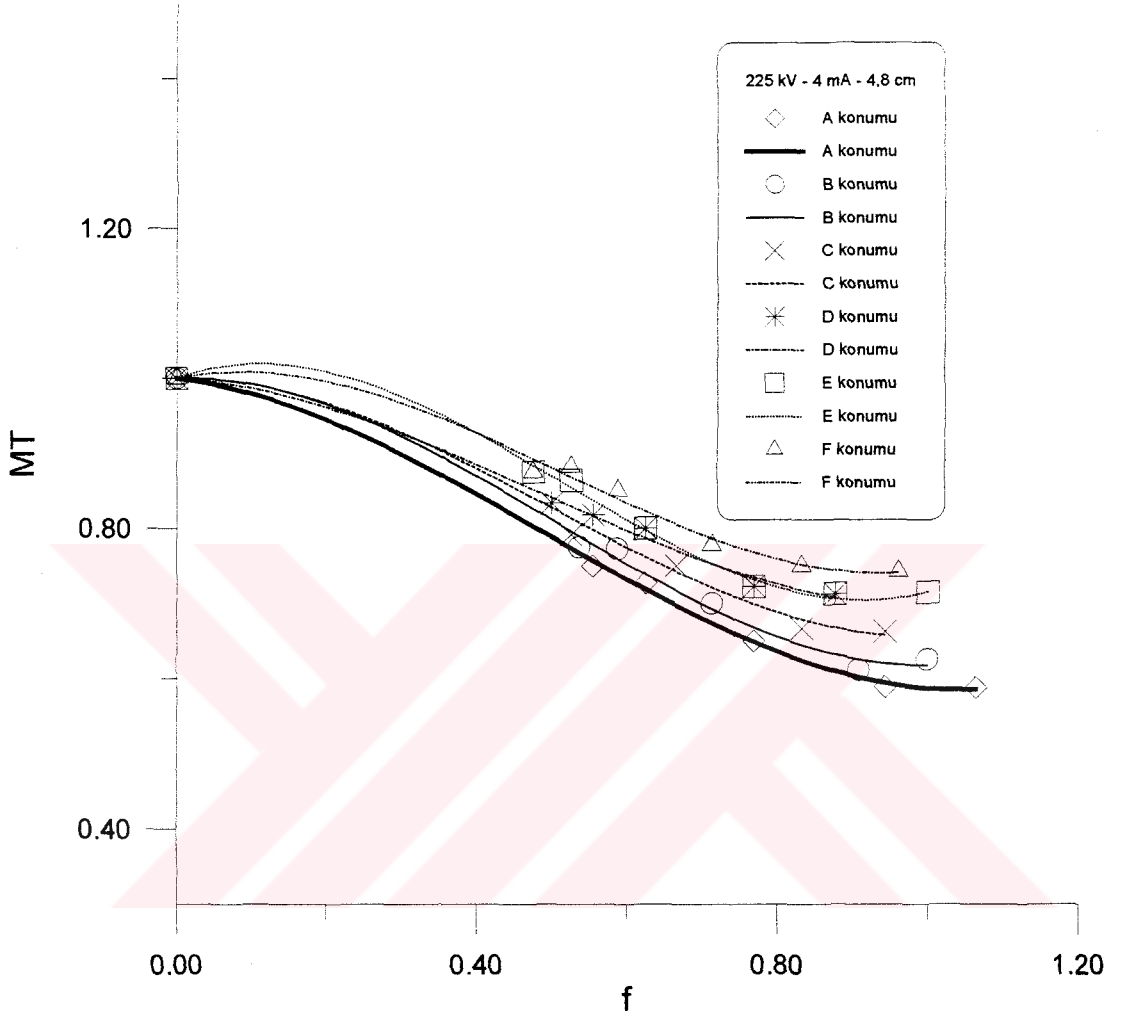
0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik konumu için 225 kV ve 4 mA'de yapılan radyografi çekimler sonucunda elde edilen frekans ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15

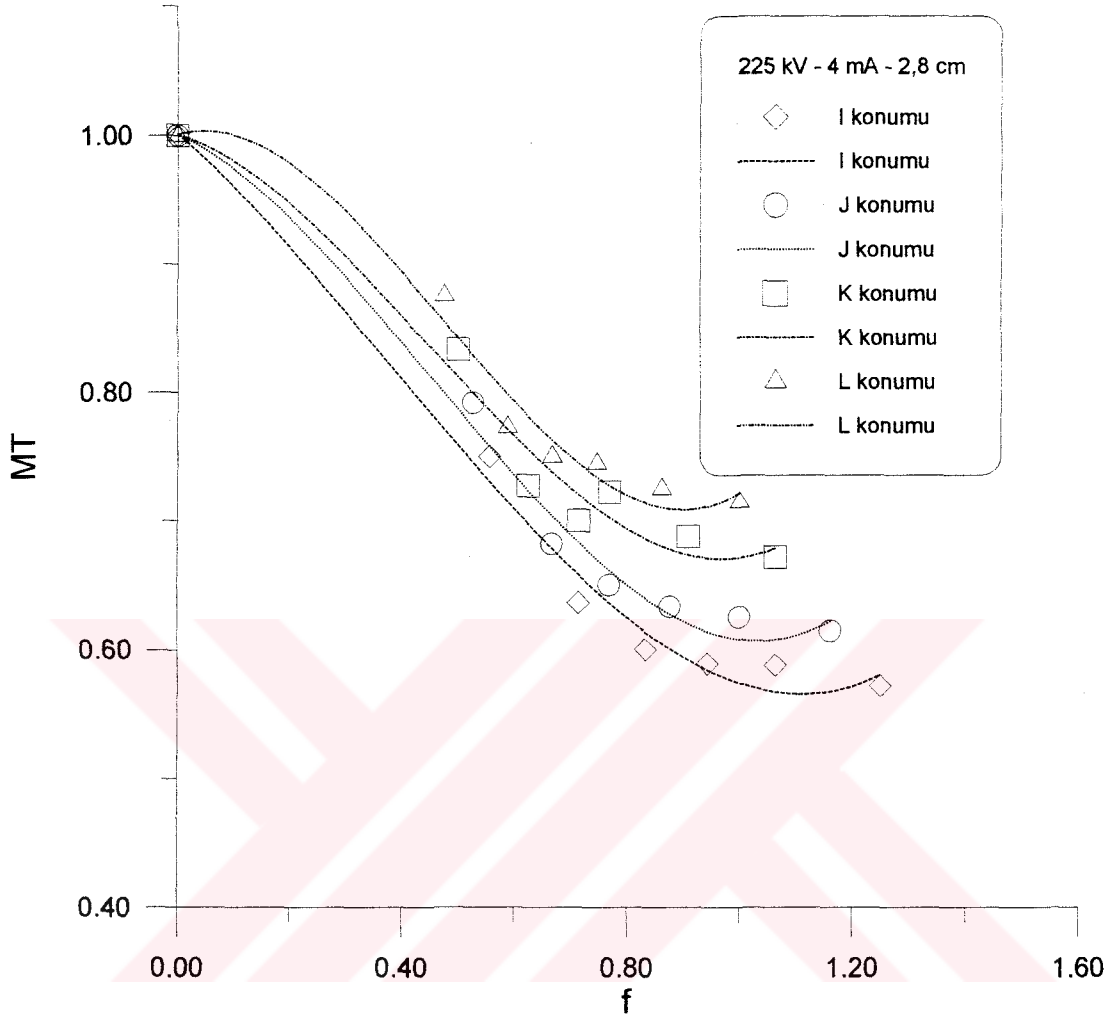
225 kV ve 4 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 4 mA , Poz süresi: 21 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,555556	0,750000
	0,625000	0,727273
	0,833333	0,600000
	1,000000	0,555556
	1,063830	0,587500
	1,351351	0,528571
0 (N konumu)	0,526316	0,791667
	0,602410	0,754545
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,250000	0,571429

225 kV ve 4 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.13 ve Tablo 5.14) elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görülmektedir.

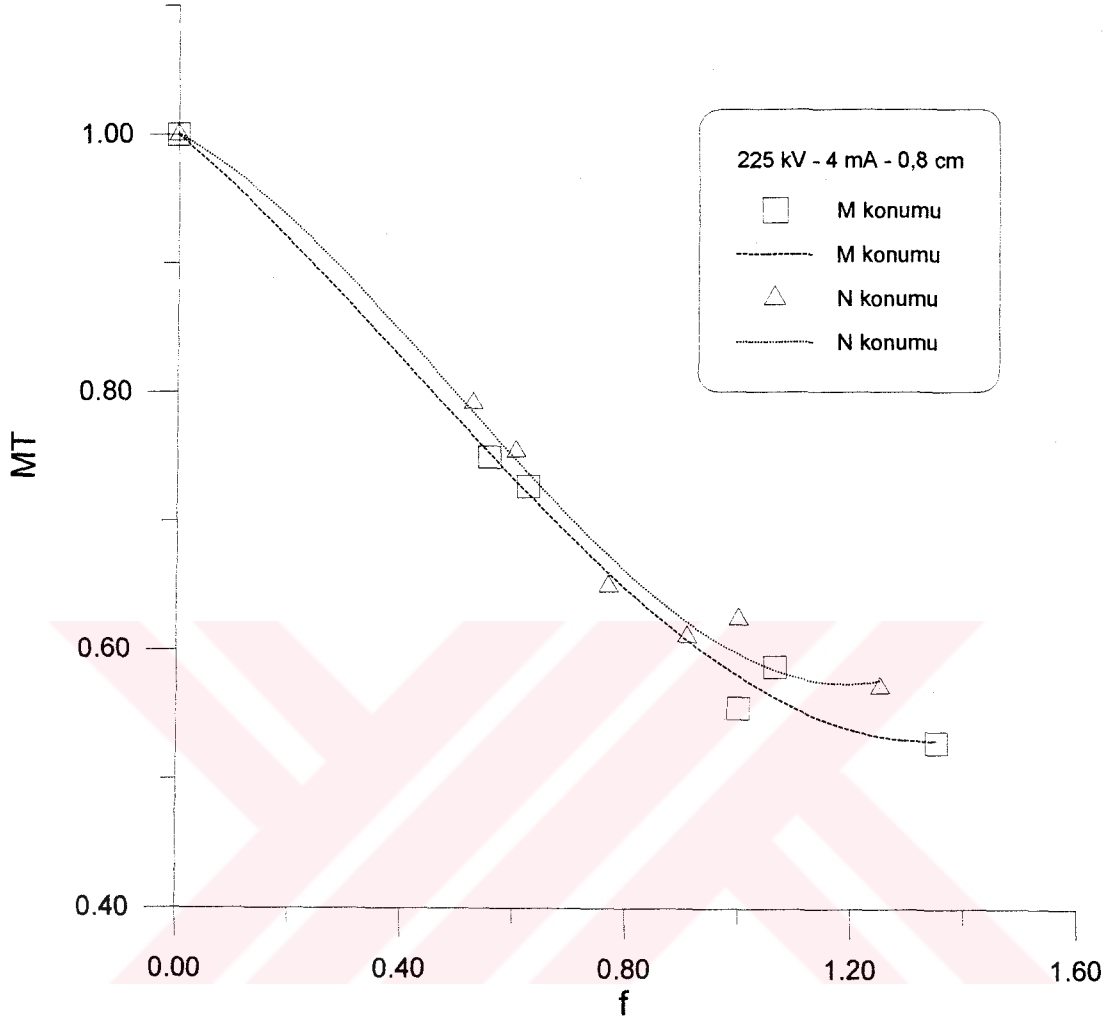


Şekil 5.4 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 4mA'de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.5 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 4 mA'de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

225 kV ve 4 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.15) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

225 kV gerilim ve 5 mA akımda 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçalar için yapılan çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülebilen her bir çizgi (karesel kanal) çifti için modülasyon transferi değerleri Denklem 3.5'den yararlanılarak tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 5.16 ve Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.16

225 kV ve 5 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 5 mA , Poz süresi: 43 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,526316	0,791667
	0,588235	0,772727
	0,714286	0,700000
	0,877193	0,633333
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
4 (B konumu)	0,526316	0,791667
	0,555556	0,818182
	0,666667	0,750000
	0,833333	0,666667
	0,909091	0,687500
	1,111111	0,642857
2,8 (C konumu)	0,500000	0,833333
	0,549451	0,827233
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,714286
2 (D konumu)	0,476190	0,875000
	0,526316	0,863636
	0,625000	0,800000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	0,961538	0,742857
0,8 (E konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,909091	0,785714
0 (F konumu)	0,434783	0,958333
	0,471698	0,963636
	0,555556	0,900000
	0,502410	0,922222
	0,714286	0,875000
	0,833333	0,857143

Tablo 5.17

225 kV ve 5 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV- 5 mA , Poz süresi: 4 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,526316	0,791667
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
2 (J konumu)	0,500000	0,833333
	0,625000	0,727273
	0,714286	0,700000
	0,833333	0,666667
	0,943396	0,662500
	1,111111	0,642857
0,8 (K konumu)	0,476190	0,875000
	0,588235	0,772727
	0,666667	0,750000
	0,769231	0,722222
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
0 (L konumu)	0,454545	0,916667
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,714286	0,777778
	0,806452	0,775000
	0,943396	0,757143

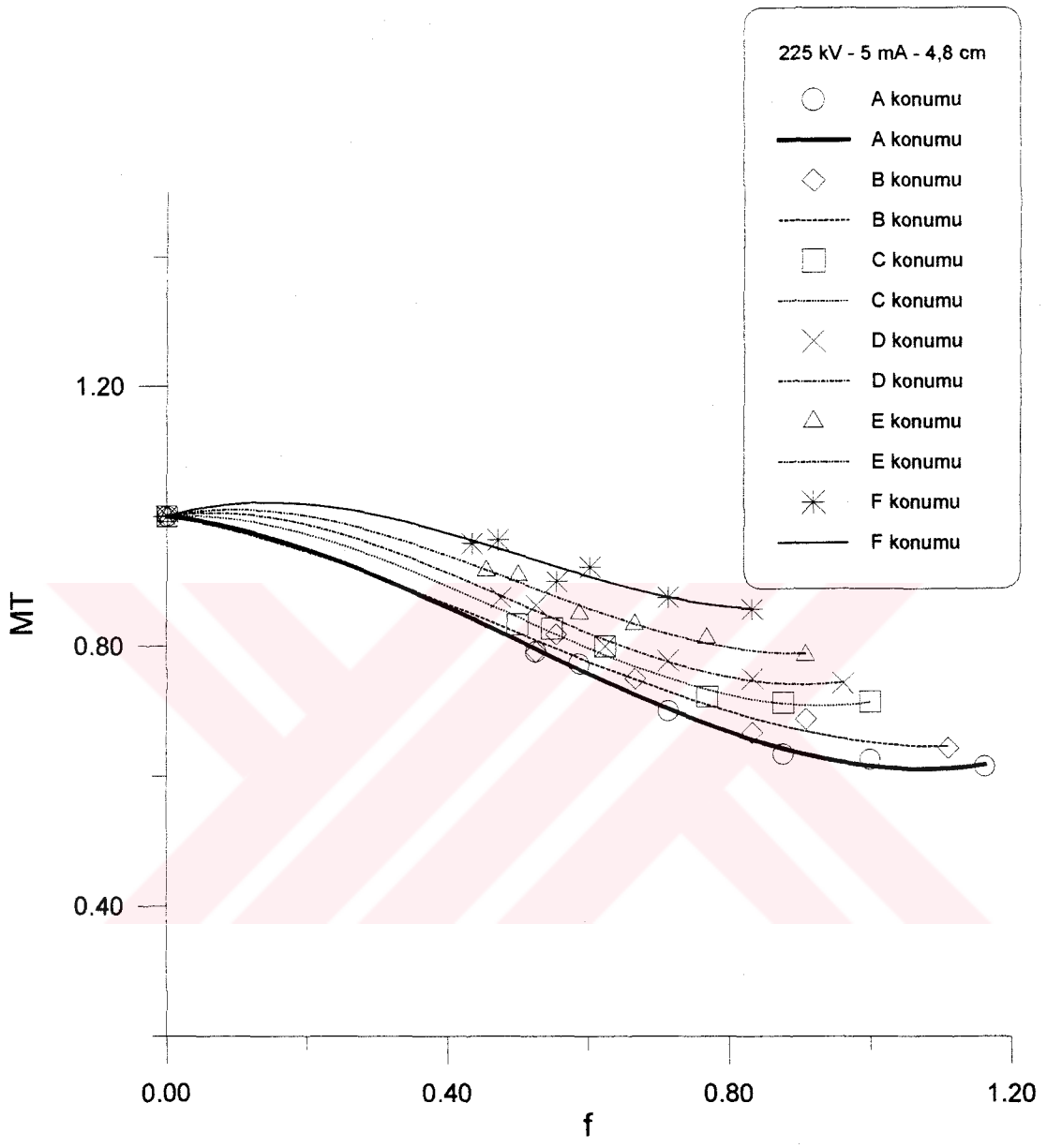
0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik konumu için 225 kV ve 5 mA'de yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen frekans ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.18'de verilmektedir.

Tablo 5.18

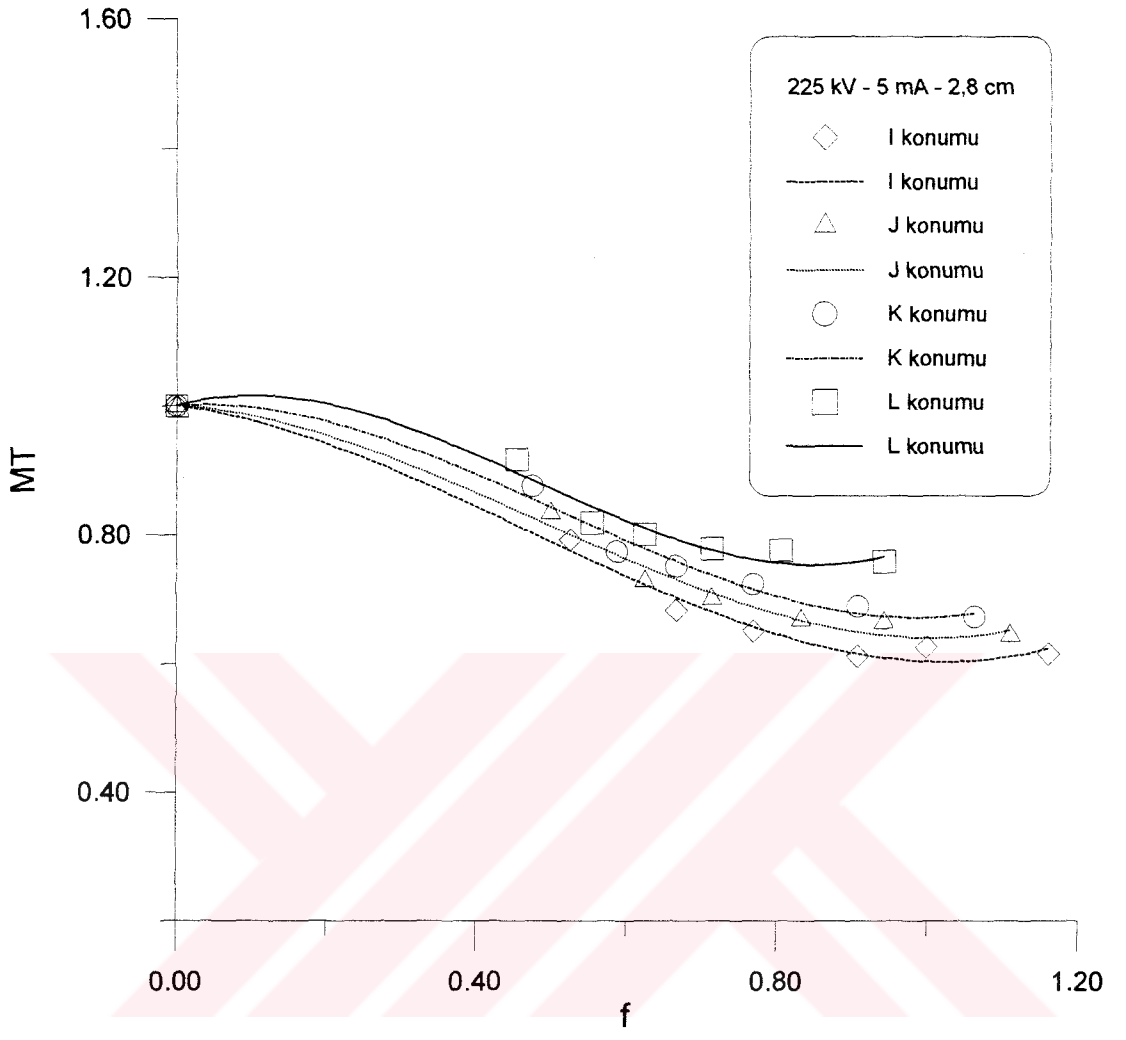
225 kV ve 5 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**225 kV - 5 mA , Poz süresi: 18 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,526316	0,791667
	0,588235	0,772727
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,250000	0,571429
0 (N konumu)	0,526316	0,791667
	0,588235	0,772727
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,250000	0,571429

225 kV ve 5 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.16 ve Tablo 5.17) yararlanılarak çizilen grafikler sırasıyla Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de görülmektedir.

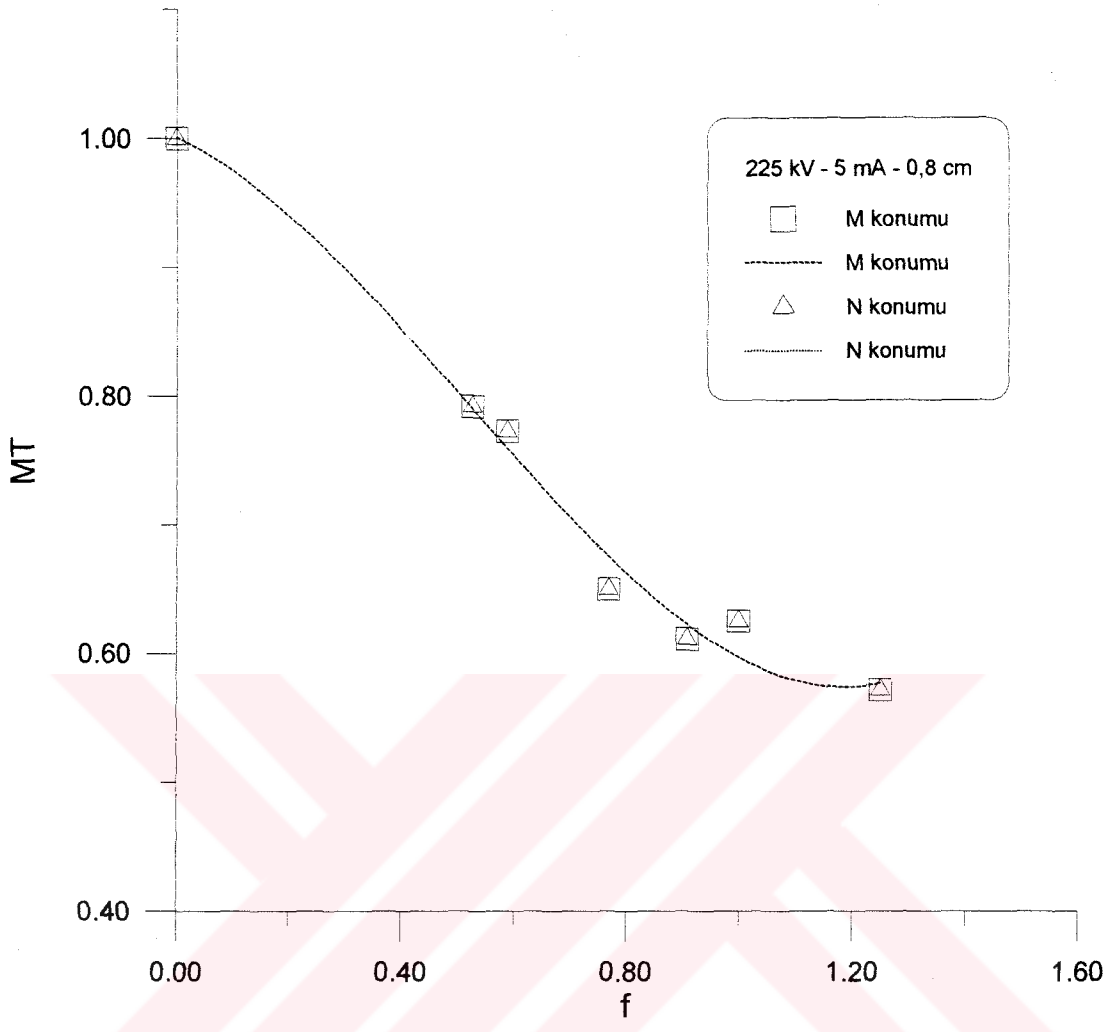


Şekil 5.7 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.8 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

225 kV ve 5 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.18) elde edilen grafik Şekil 5.9'da görülmektedir.



Şekil 5.9 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 225 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV gerilim ve 3 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçalar için yapılan çekimler sonucunda elde edilen radyografiarda görülen her bir çizgi (karesel kanal) çifti için modülasyon transferi değerleri Denklem 3.5'den yararlanılarak tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 5.19 ve Tablo 5.20'de verilmiştir.

Tablo 5.19

250 kV ve 3 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV- 3 mA , Poz süresi: 60 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818181
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	1,000000	0,625000
	1,250000	0,571429
4 (B konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818181
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	1,000000	0,625000
	1,250000	0,571429
2,8 (C konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818181
	0,617284	0,810000
	0,714286	0,744444
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
2 (D konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818181
	0,617284	0,810000
	0,714286	0,744444
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
0,8 (E konumu)	0,476191	0,875000
	0,543478	0,836363
	0,609756	0,820000
	0,735294	0,755556
	0,833333	0,750000
	1,000000	0,714286
0 (F konumu)	0,476190	0,875000
	0,537634	0,845455
	0,602410	0,830000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	1,000000	0,714286

Tablo 5.20

250 kV ve 3 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 3 mA , Poz süresi: 6 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,555556	0,750000
	0,714286	0,636364
	0,833333	0,600000
	1,000000	0,555556
	1,111111	0,562500
	1,315789	0,542857
2 (J konumu)	0,555556	0,750000
	0,714286	0,636364
	0,833333	0,600000
	1,000000	0,555556
	1,111111	0,562500
	1,315789	0,542857
0,8 (K konumu)	0,500000	0,833333
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571429
0 (L konumu)	0,500000	0,833333
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571429

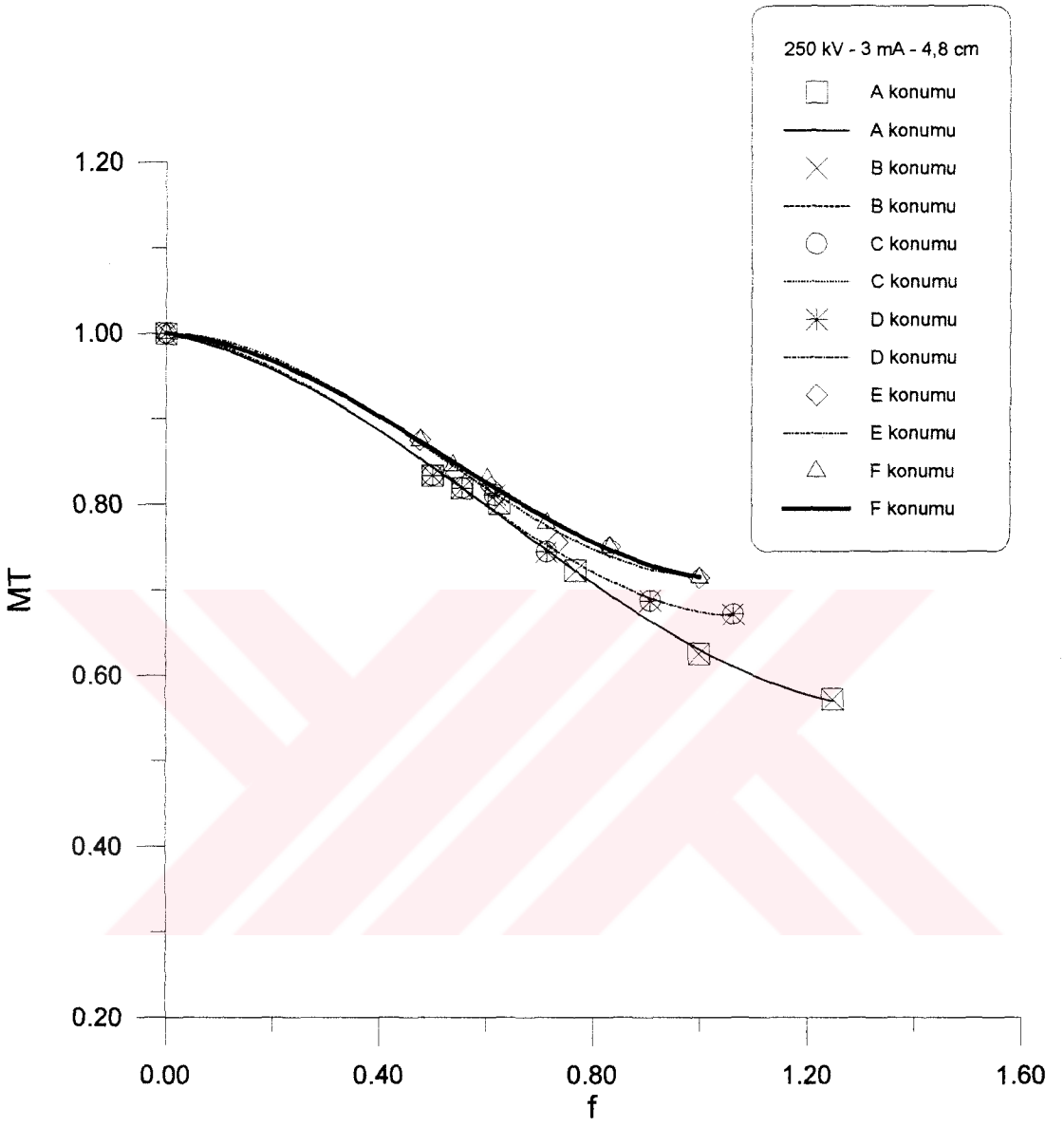
250 kV gerilim ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parça için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekanslar ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.21'de verilmiştir.

Tablo 5.21

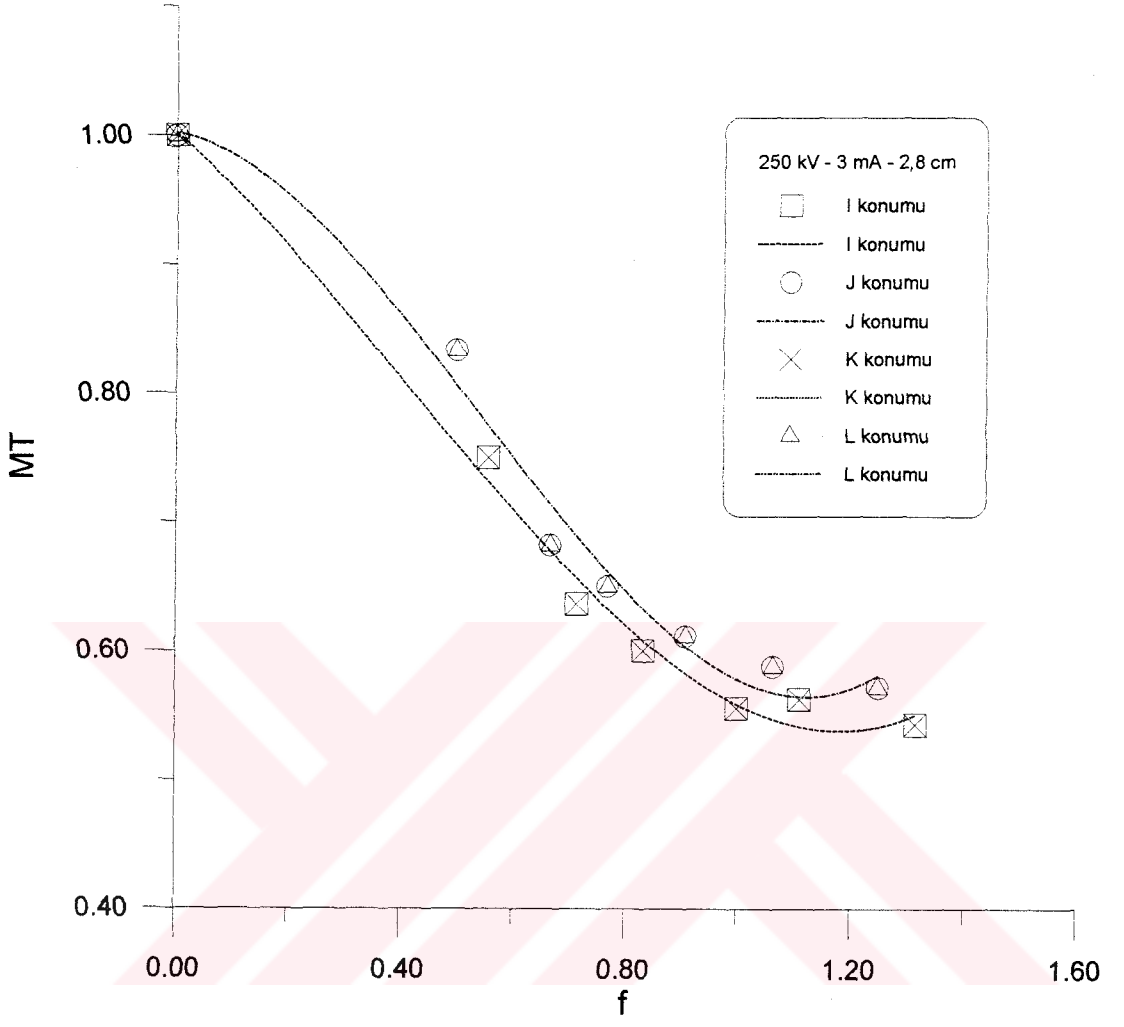
250 kV ve 3 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 3 mA , Poz süresi: 25 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,555556	0,750000
	0,625000	0,727273
	0,833333	0,600000
	0,943396	0,588889
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571428
0 (N konumu)	0,555556	0,750000
	0,625000	0,727273
	0,833333	0,600000
	1,000000	0,555556
	1,063830	0,587500
	1,250000	0,571428

250 kV ve 3 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.19 ve Tablo 5.20) yararlanılarak çizilen grafikler sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de görülmektedir.

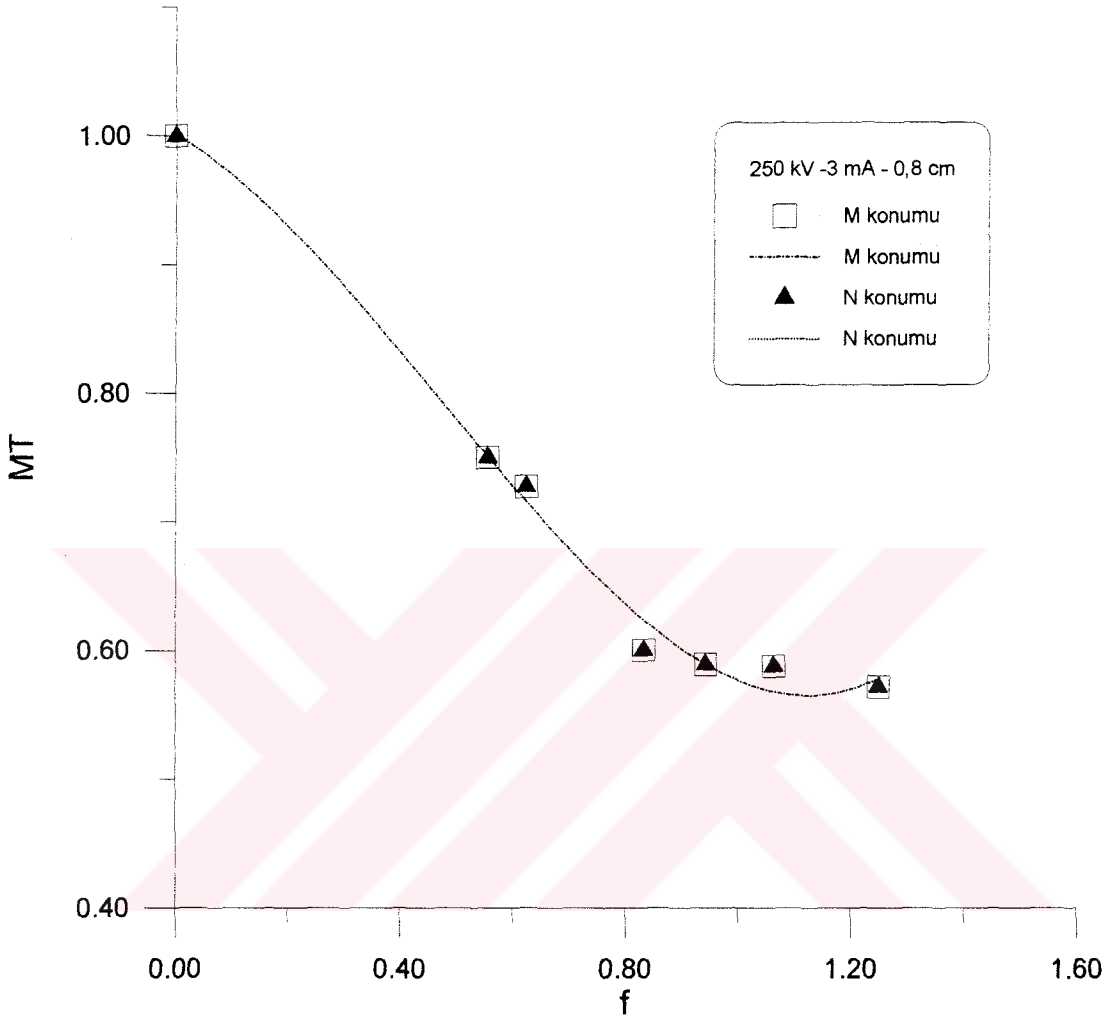


Şekil 5.10 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.11 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV ve 3 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.21) yararlanılarak çizilen grafik Şekil 5.12'de görülmektedir.



Şekil 5.12 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV gerilim ve 4 mA akım değerinde 4,8 cm kalınlıklı numune parça için yapılan çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülen her bir çizgi (karesel kanal) çiftine karşı gelen frekans ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.22'de verilmiştir.

Tablo 5.22

250 kV ve 4 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 4 mA , Poz süresi: 50 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818182
	0,617284	0,810000
	0,757576	0,733333
	0,909091	0,687500
4 (B konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818182
	0,641026	0,780000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	0,943396	0,757143
2,8 (C konumu)	0,476190	0,875000
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,684932	0,811111
	0,793651	0,787500
	0,909091	0,785714
2 (D konumu)	0,454545	0,916667
	0,515464	0,881818
	0,588235	0,850000
	0,649351	0,855556
	0,769231	0,812500
	0,877193	0,814286
0,8 (E konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,649351	0,855556
	0,649351	0,837500
	0,862069	0,828571
0 (F konumu)	0,446429	0,933333
	0,490196	0,927273
	0,555556	0,900000
	0,625000	0,888889
	0,714286	0,875000
	0,833333	0,857143

250 kV gerilim ve 4 mA'de 2,8 cm ve 0,8 cm kalınlıklı numune parçaları için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyografiarda görülen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekanslar ve modülasyon transferi değerleri sırasıyla Tablo 5.23 ve Tablo 5.24'te verilmektedir.

Tablo 5.23

250 kV ve 4 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

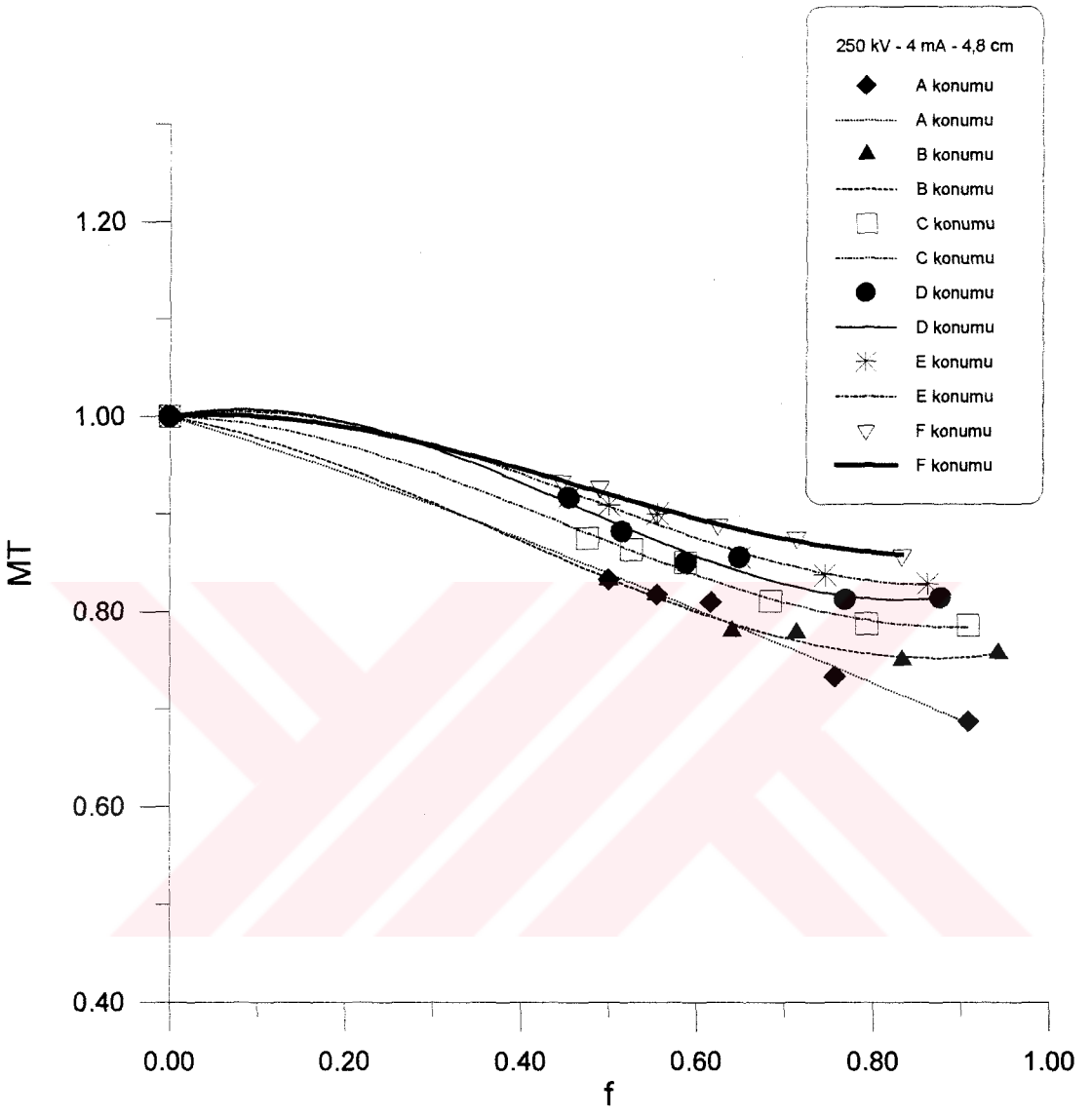
Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 4 mA , Poz süresi: 5 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,526316	0,791667
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,190476	0,600000
2 (J konumu)	0,526316	0,791667
	0,666667	0,681818
	0,769231	0,650000
	0,909091	0,611111
	1,000000	0,625000
	1,190476	0,600000
0,8 (K konumu)	0,500000	0,833333
	0,625000	0,727273
	0,714286	0,700000
	0,833333	0,666667
	0,961538	0,650000
	1,111111	0,642857
0 (L konumu)	0,500000	0,833333
	0,588235	0,772727
	0,666667	0,750000
	0,833333	0,666667
	0,961538	0,650000
	1,111111	0,642857

Tablo 5.24

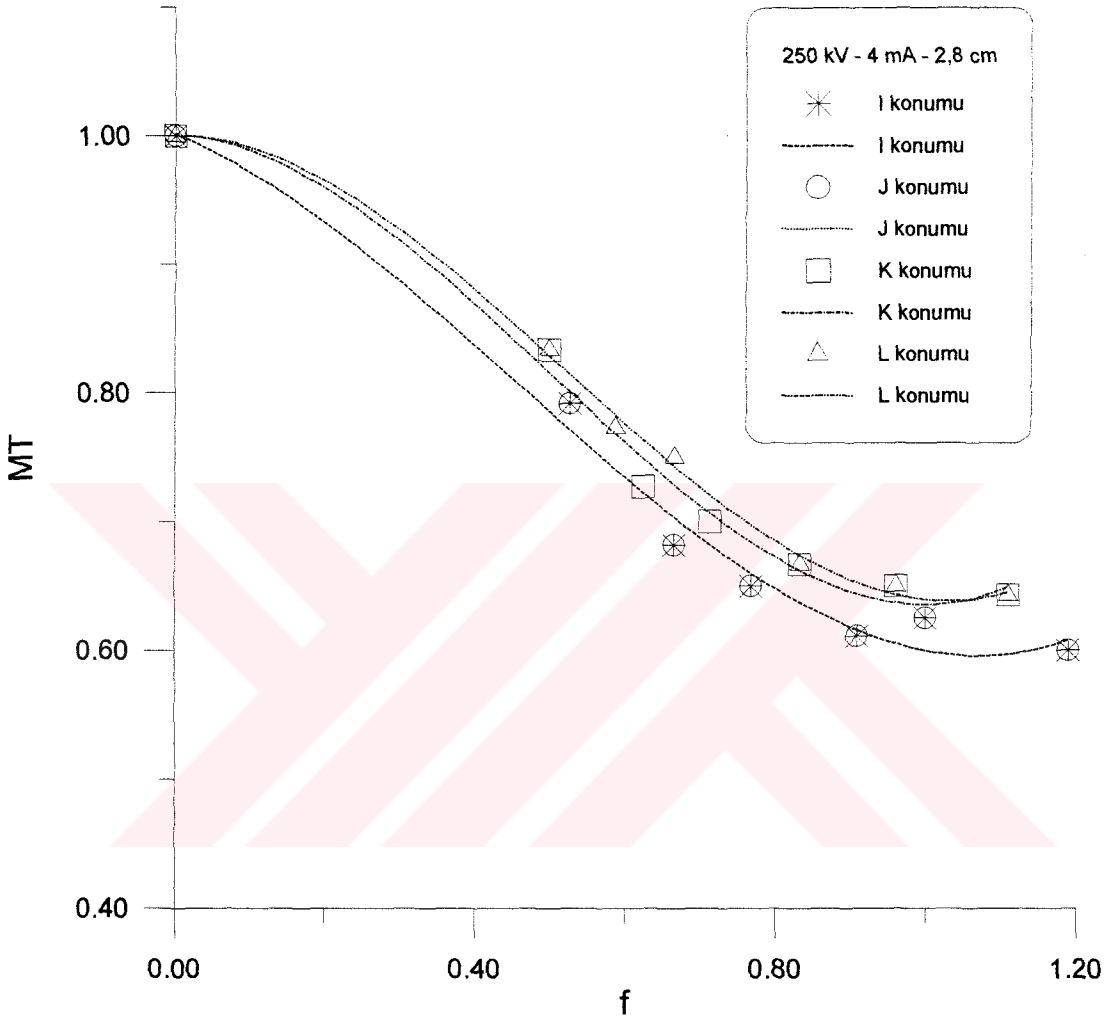
250 kV ve 4 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 4 mA , Poz süresi: 21 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,476190	0,875000
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,712860
0 (N konumu)	0,476190	0,875000
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,712860

250 kV ve 4 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.22 ve Tablo 5.23) elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te görülmektedir.

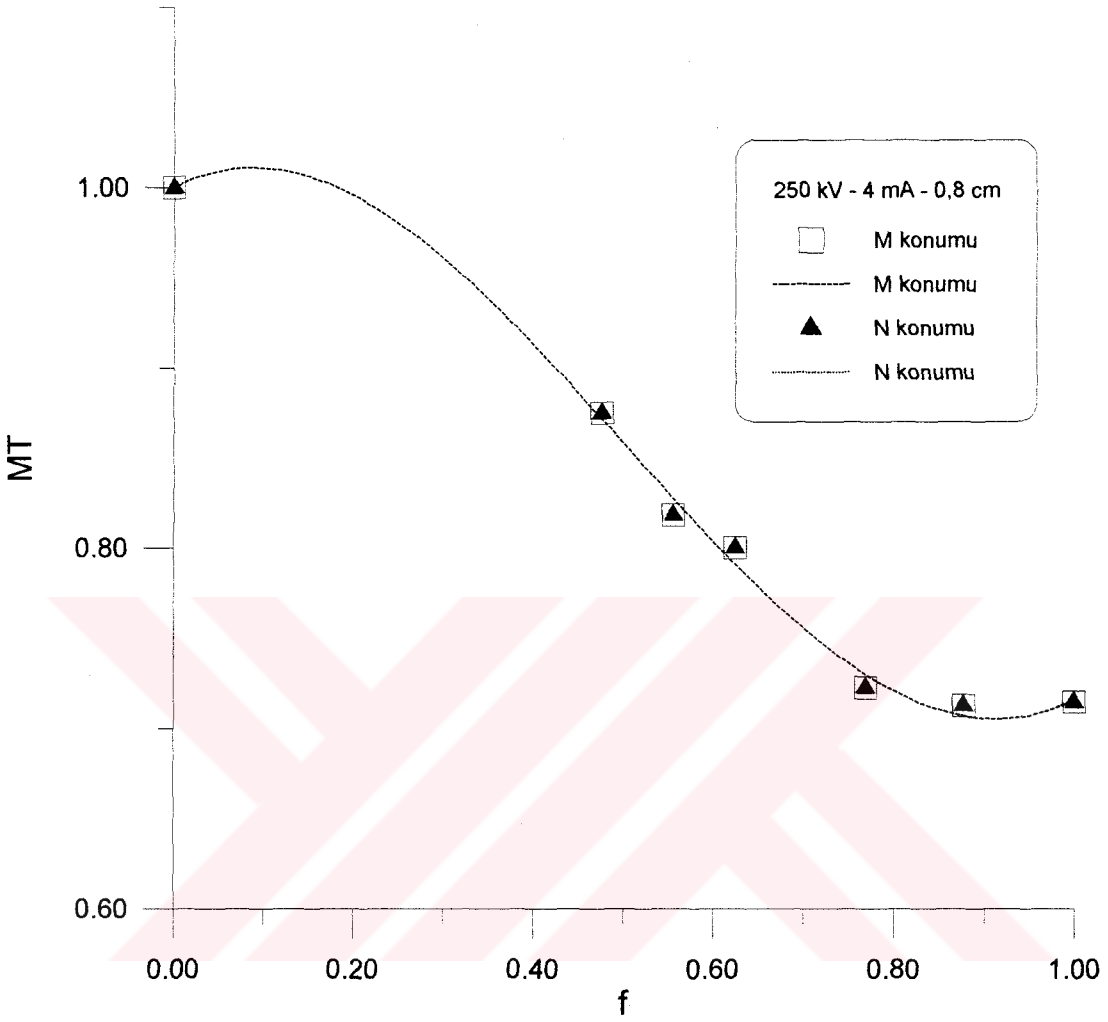


Şekil 5.13 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.14 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV ve 4 mA'de 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.24) yararlanılarak çizilen grafik Şekil 5.15'te görülmektedir.



Şekil 5.15 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV gerilim ve 5 mA'de 4,8 cm kalınlıklı numune parça için 6 farklı süreksizlik konumunda yapılan çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülen her bir çizgi (karesel kanal) çiftine karşı gelen frekans ve modülasyon transferi değerleri Tablo 5.25'te verilmiştir.

Tablo 5.25

250 kV ve 5 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 5 mA , Poz süresi: 43 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,476190	0,875000
	0,520833	0,872727
	0,581395	0,860000
	0,684932	0,811111
	0,806452	0,775000
	0,925926	0,771429
4 (B konumu)	0,467290	0,891667
	0,500000	0,909091
	0,574713	0,870000
	0,666667	0,833333
	0,793651	0,787500
	0,961438	0,742857
2,8 (C konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,625000	0,888889
	0,746269	0,837500
	0,909091	0,785714
2 (D konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,625000	0,888889
	0,735294	0,850000
	0,833333	0,857143
0,8 (E konumu)	0,446429	0,933333
	0,490196	0,927273
	0,543478	0,920000
	0,609756	0,911111
	0,714286	0,875000
	0,806452	0,885714
0 (F konumu)	0,446429	0,933333
	0,490196	0,927273
	0,543478	0,920000
	0,609756	0,911111
	0,714286	0,875000
	0,806452	0,885714

250 kV gerilim ve 5 mA'de 2,8 cm ve 0,8 cm kalınlıklı numune parçaları için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyografiarda görülen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekanslar ve modülasyon transferi değerleri sırasıyla Tablo 5.26 ve Tablo 5.27'de verilmektedir.

Tablo 5.26

250 kV ve 5 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

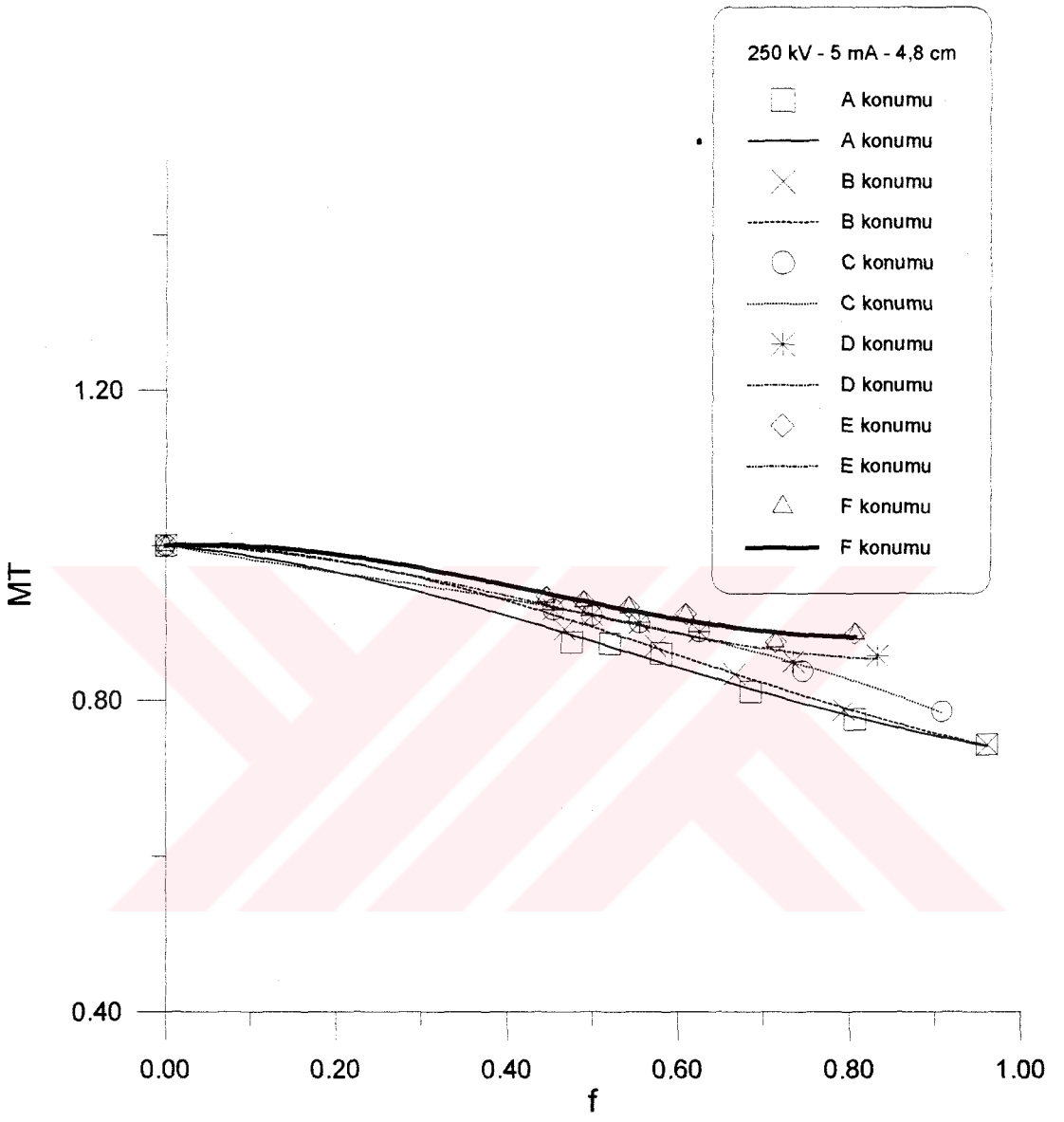
Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 5 mA , Poz süresi: 4 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,500000	0,833333
	0,625000	0,727273
	0,714286	0,700000
	0,877193	0,633333
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
2 (J konumu)	0,500000	0,833333
	0,588235	0,772727
	0,675676	0,740000
	0,833333	0,666667
	0,961538	0,650000
	1,111111	0,642857
0,8 (K konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,769231	0,722222
	0,909091	0,687500
	1,063830	0,671429
0 (L konumu)	0,500000	0,833333
	0,543478	0,836364
	0,625000	0,800000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	0,943396	0,757143

Tablo 5.27

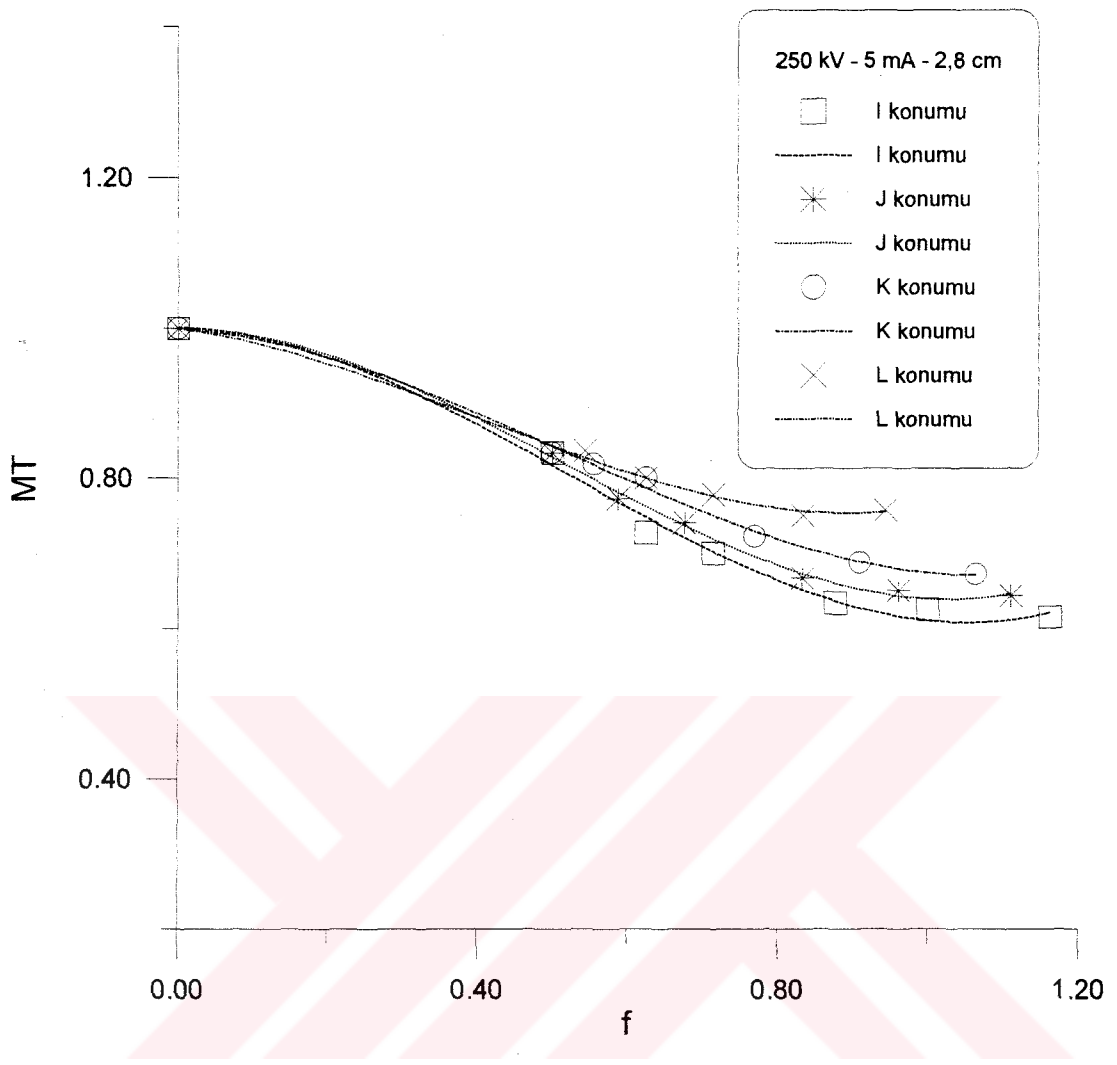
250 kV ve 5 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**250 kV - 5 mA , Poz süresi: 18 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,467290	0,891667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,694444	0,800000
	0,793651	0,787500
	0,909091	0,785714
0 (N konumu)	0,467290	0,891667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,694444	0,800000
	0,793651	0,787500
	0,909091	0,785714

250 kV ve 5 mA akım değerlerinde 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için yapılan radyografik çekimlerin sonuçları olan MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.25 ve Tablo 5.26) elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de görülmektedir.

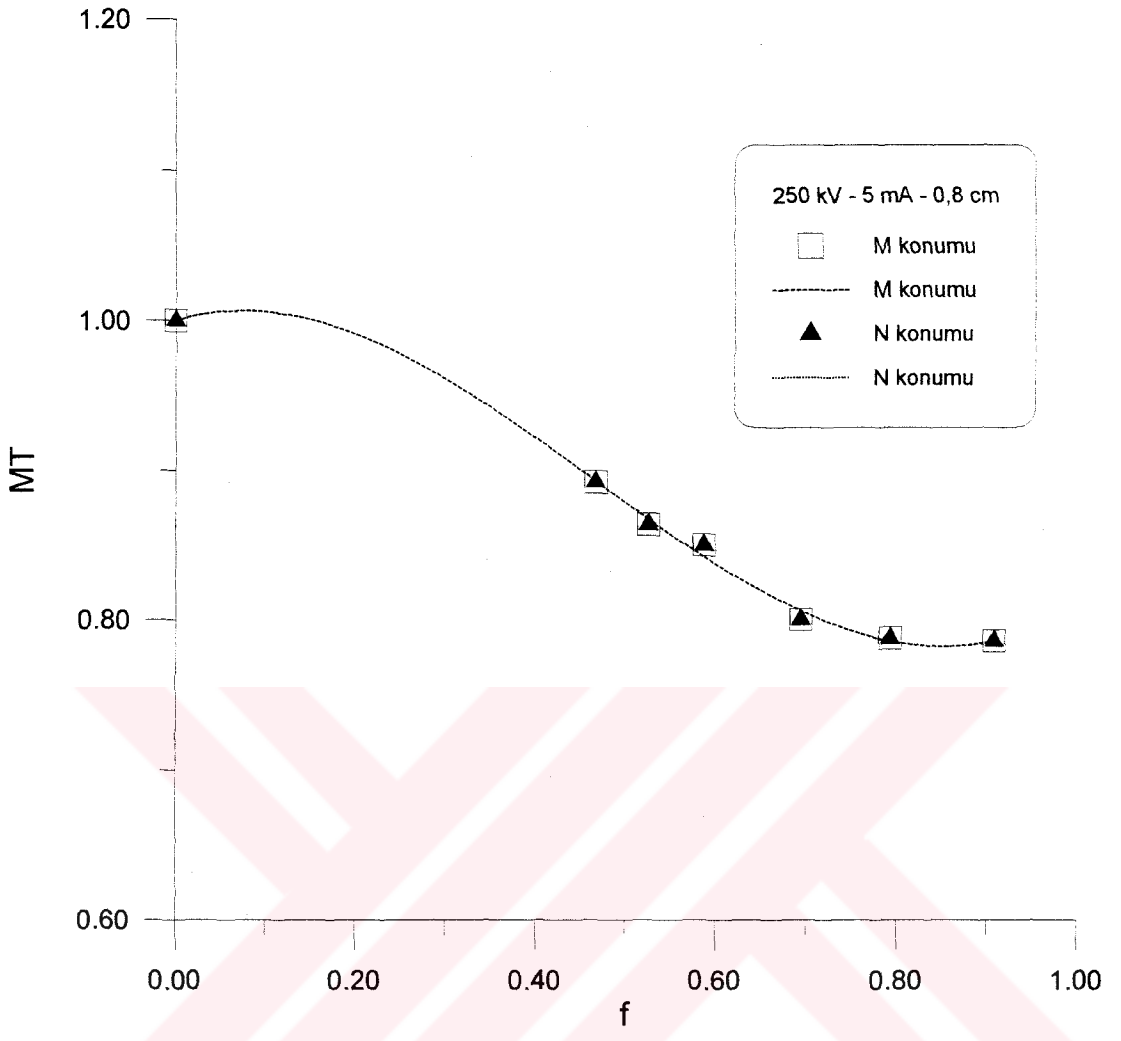


Şekil 5.16 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.17 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

250 kV gerilim ve 5 mA akım değerlerinde 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen modülasyon transferi ve frekans değerlerinden (Tablo 5.27) çizilen grafik Şekil 5.18'de görülmektedir.



Şekil 5.18 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 250 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MTF-f Grafiği

275 kV gerilim ve 3 mA akım değerinde 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik konumu için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülen her bir çizgi (karesel kanal) çiftine karşılık modülasyon transferi ve frekans değerleri tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.28'de verilmiştir.

Tablo 5.28

275 kV ve 3 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 3 mA , Poz süresi: 25 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,476190	0,875000
	0,515464	0,881818
	0,602410	0,830000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
4 (B konumu)	0,467290	0,891667
	0,500000	0,909091
	0,574713	0,870000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,909091	0,785714
2,8 (C konumu)	0,454545	0,916667
	0,490196	0,927273
	0,555556	0,900000
	0,649352	0,855556
	0,746269	0,837500
	0,877193	0,814286
2 (D konumu)	0,454545	0,916667
	0,490196	0,927273
	0,555556	0,900000
	0,649351	0,855556
	0,746269	0,837500
	0,877193	0,814286
0,8 (E konumu)	0,434783	0,958333
	0,485437	0,936364
	0,543478	0,920000
	0,625000	0,888889
	0,714286	0,875000
	0,833333	0,857143
0 (F konumu)	0,434783	0,958333
	0,47619	0,954545
	0,526316	0,950000
	0,602410	0,922222
	0,684932	0,912500
	0,806452	0,885714

275 kV gerilim ve 3 mA'de 2,8 cm ve 0,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik konumları için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülebilen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekans ve modülasyon transferi değerleri sırasıyla Tablo 5.29 ve Tablo 5.30'da verilmektedir.

Tablo 5.29

275 kV ve 3 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

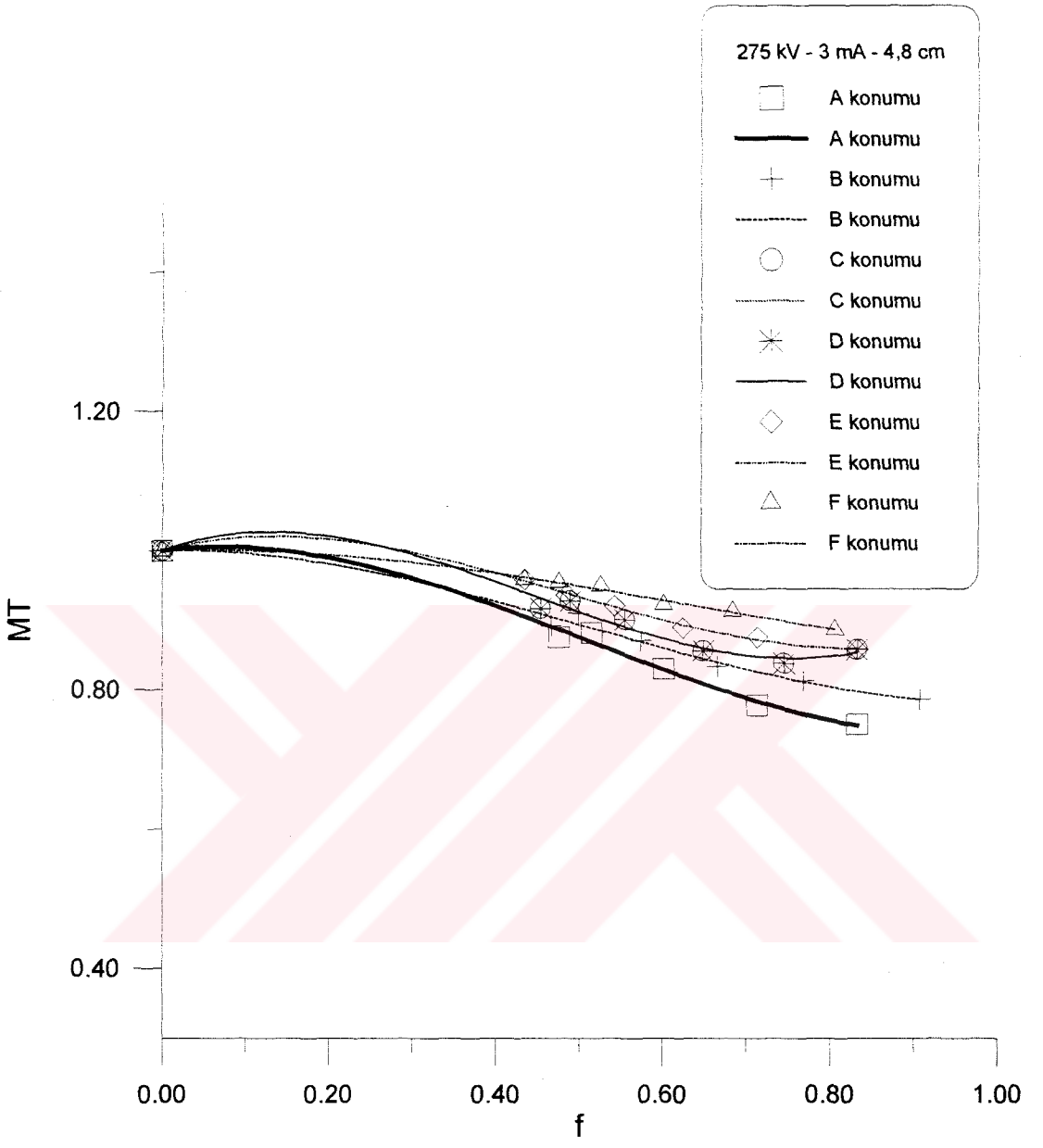
Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 3 mA , Poz süresi: 4 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,526316	0,791667
	0,588235	0,772727
	0,769231	0,650000
	0,877193	0,633333
	1,000000	0,625000
	1,162791	0,614286
2 (J konumu)	0,500000	0,833333
	0,555556	0,818182
	0,714286	0,700000
	0,833333	0,666667
	0,943396	0,662500
	1,111111	0,642857
0,8 (K konumu)	0,485437	0,858333
	0,543478	0,836364
	0,666667	0,750000
	0,746269	0,744444
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,714286
0 (L konumu)	0,485437	0,858333
	0,543478	0,836364
	0,666667	0,750000
	0,746269	0,744444
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,714286

Tablo 5.30

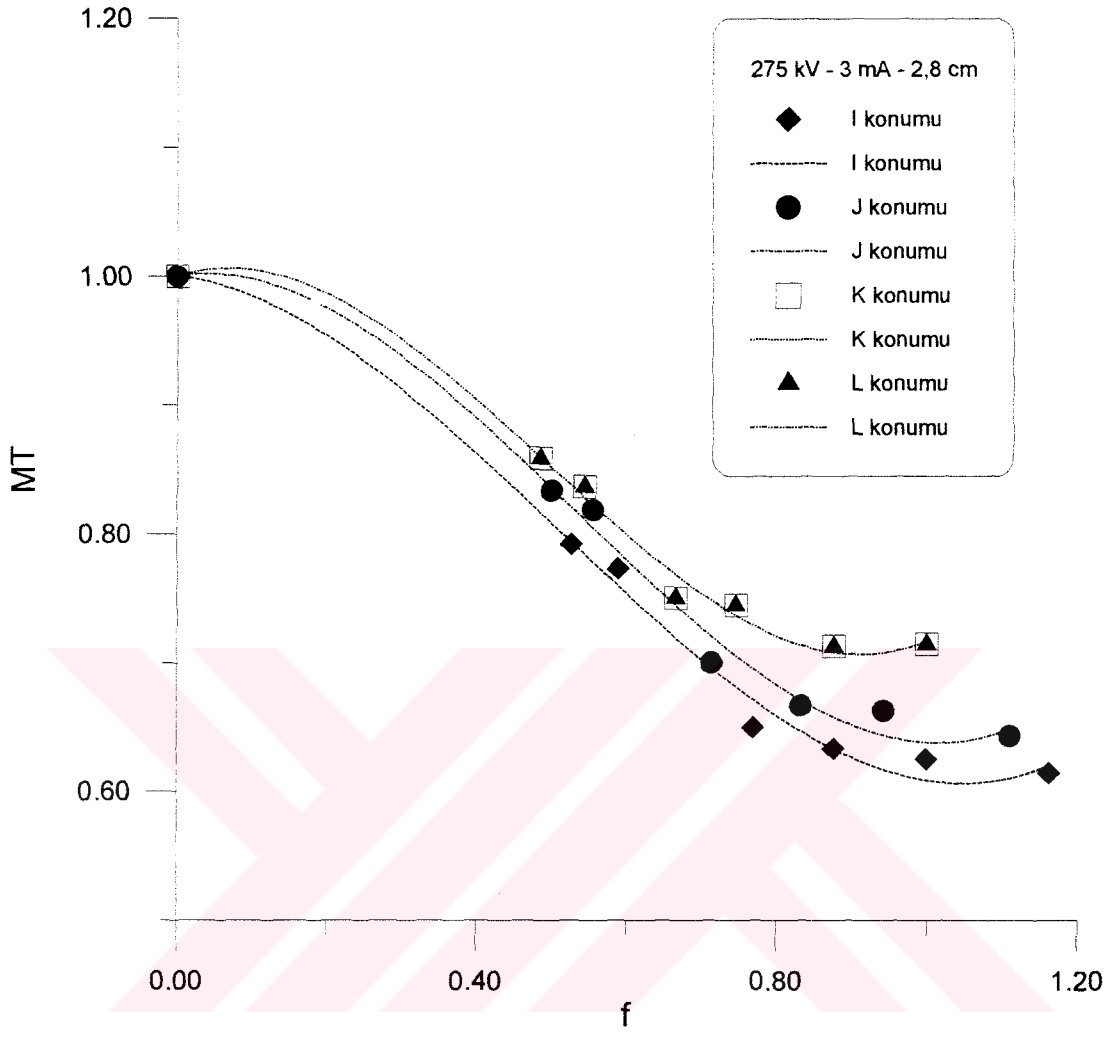
275 kV ve 3 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 3 mA , Poz süresi: 15 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,476190	0,875000
	0,526316	0,863636
	0,625000	0,800000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	1,000000	0,714286
0 (N konumu)	0,476190	0,875000
	0,526316	0,863636
	0,666667	0,750000
	0,712860	0,777778
	0,833333	0,750000
	1,000000	0,714286

275 kV ve 3 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.28 ve Tablo 5.29) çizilen grafikler sırasıyla Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de görülmektedir.

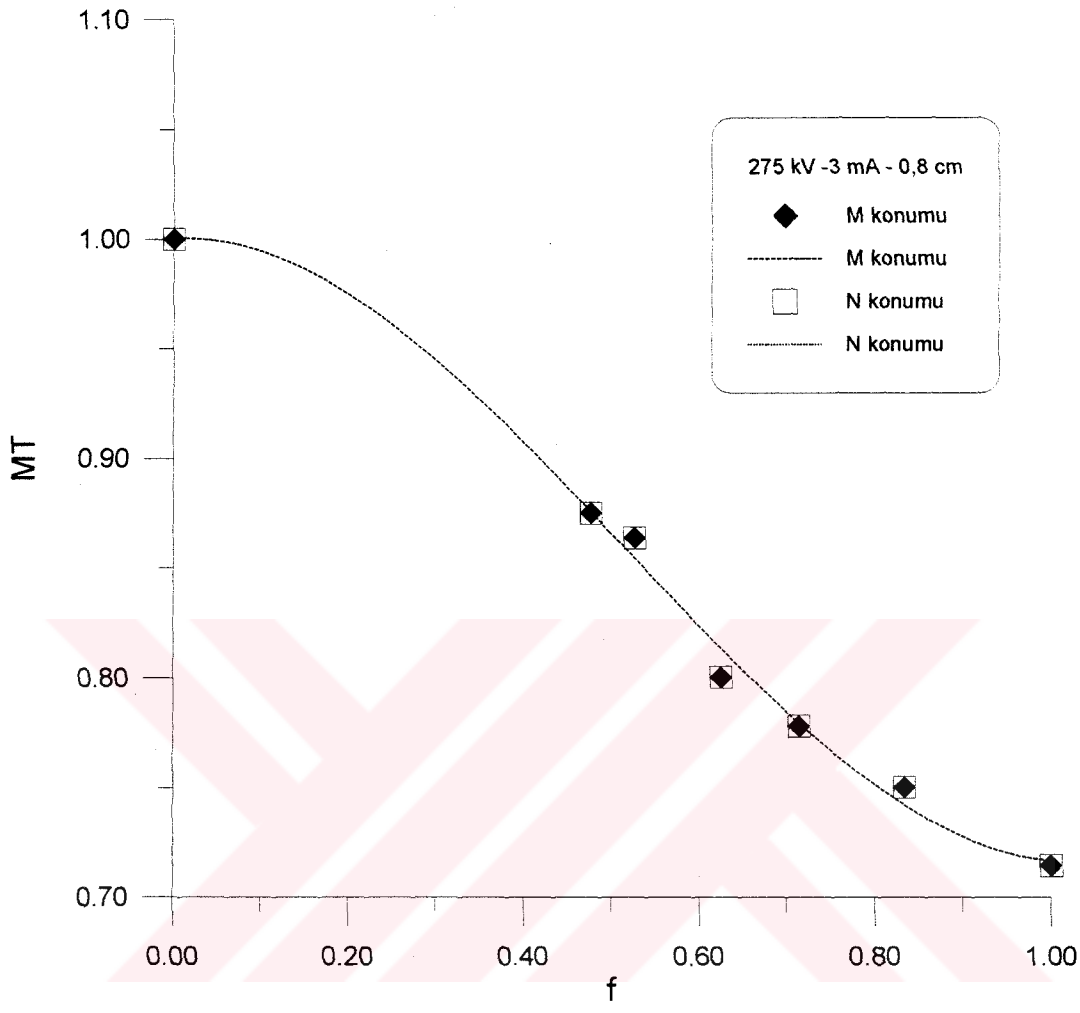


Şekil 5.19 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.20 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

275 kV gerilim ve 3 mA akım değerlerinde 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.30) çizilen grafik Şekil 5.21'de görülmektedir.



Şekil 5.21 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 3 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

275 kV gerilim ve 4 mA akım değerinde 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik konumu için yapılan radyorafi çekimleri sonucunda elde edilen radyograflarda görülen her bir çizgi (karesel kanal) çifti için modülasyon transferi ve frekans değerleri tayin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.31'de verilmiştir.

Tablo 5.31

275 kV ve 4 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 4 mA , Poz süresi: 15 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,467290	0,891667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,684932	0,811111
	0,793651	0,787500
4 (B konumu)	0,467290	0,891667
	0,515464	0,881818
	0,581395	0,860000
	0,666667	0,833333
	0,746269	0,837500
2,8 (C konumu)	0,446429	0,933333
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,649351	0,855556
	0,714286	0,875000
	0,909091	0,785714
2 (D konumu)	0,434783	0,958333
	0,476190	0,954545
	0,537634	0,930000
	0,609756	0,911111
	0,694444	0,900000
	0,877193	0,814286
0,8 (E konumu)	0,427350	0,975000
	0,467290	0,972727
	0,526316	0,950000
	0,588235	0,944444
	0,684932	0,912500
	0,833333	0,857143
0 (F konumu)	0,427350	0,975000
	0,467290	0,972727
	0,526316	0,950000
	0,588235	0,944444
	0,684932	0,912500
	0,833333	0,857143

275 kV gerilim ve 4 mA akım değerinde 2,8 cm ve 0,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik konumları için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyograflarda görülebilen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekanslar ve modülasyon transferi değerleri sırasıyla Tablo 5.32 ve Tablo 5.33'te verilmiştir.

Tablo 5.32

275 kV ve 4 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

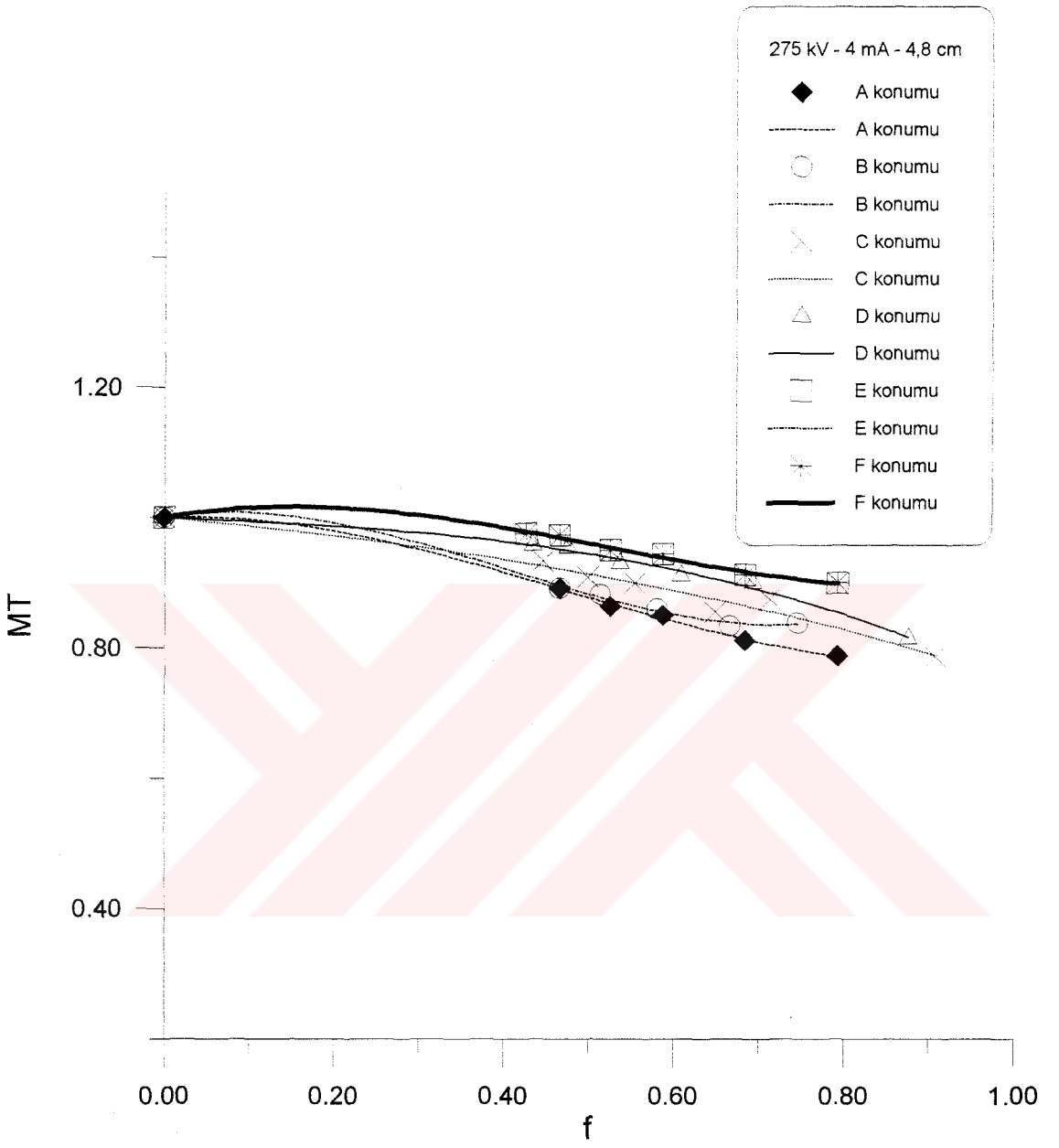
Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 4 mA , Poz süresi: 2 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,500000	0,833333
	0,574713	0,790909
	0,666667	0,750000
	0,769231	0,722222
	0,877193	0,712500
	1,000000	0,714286
2 (J konumu)	0,476190	0,875000
	0,537634	0,845455
	0,602410	0,830000
	0,714286	0,777778
	0,806452	0,775000
	0,943396	0,757143
0,8 (K konumu)	0,467290	0,891667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,877193	0,814286
0 (L konumu)	0,467290	0,891667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,877193	0,814286

Tablo 5.33

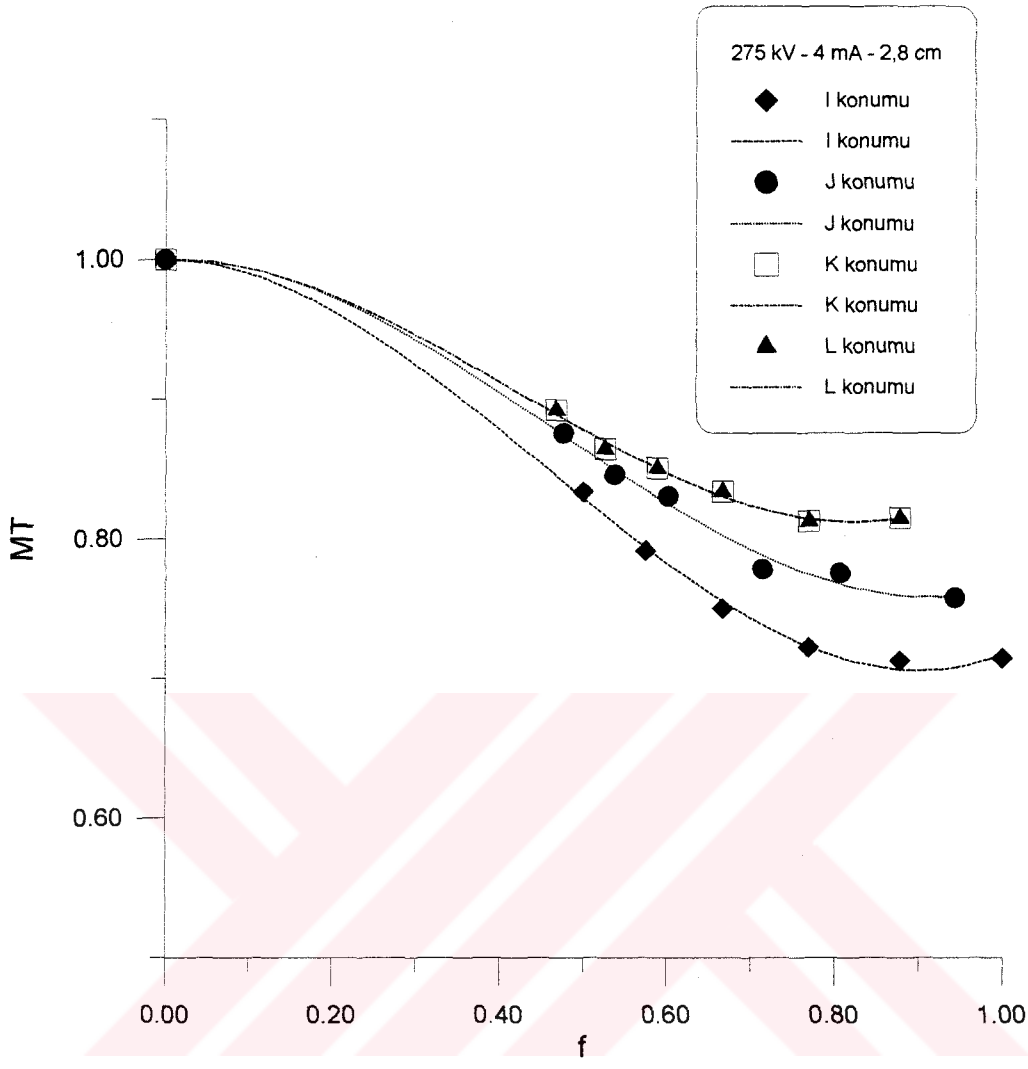
275 kV ve 4 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 4 mA , Poz süresi: 13 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,454545	0,916667
	0,515464	0,881818
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,909091	0,785714
0 (N konumu)	0,454545	0,916667
	0,515464	0,881818
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,909091	0,785714

275 kV ve 4 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.31 ve Tablo 5.32) çizilen grafikler sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te görülmektedir.

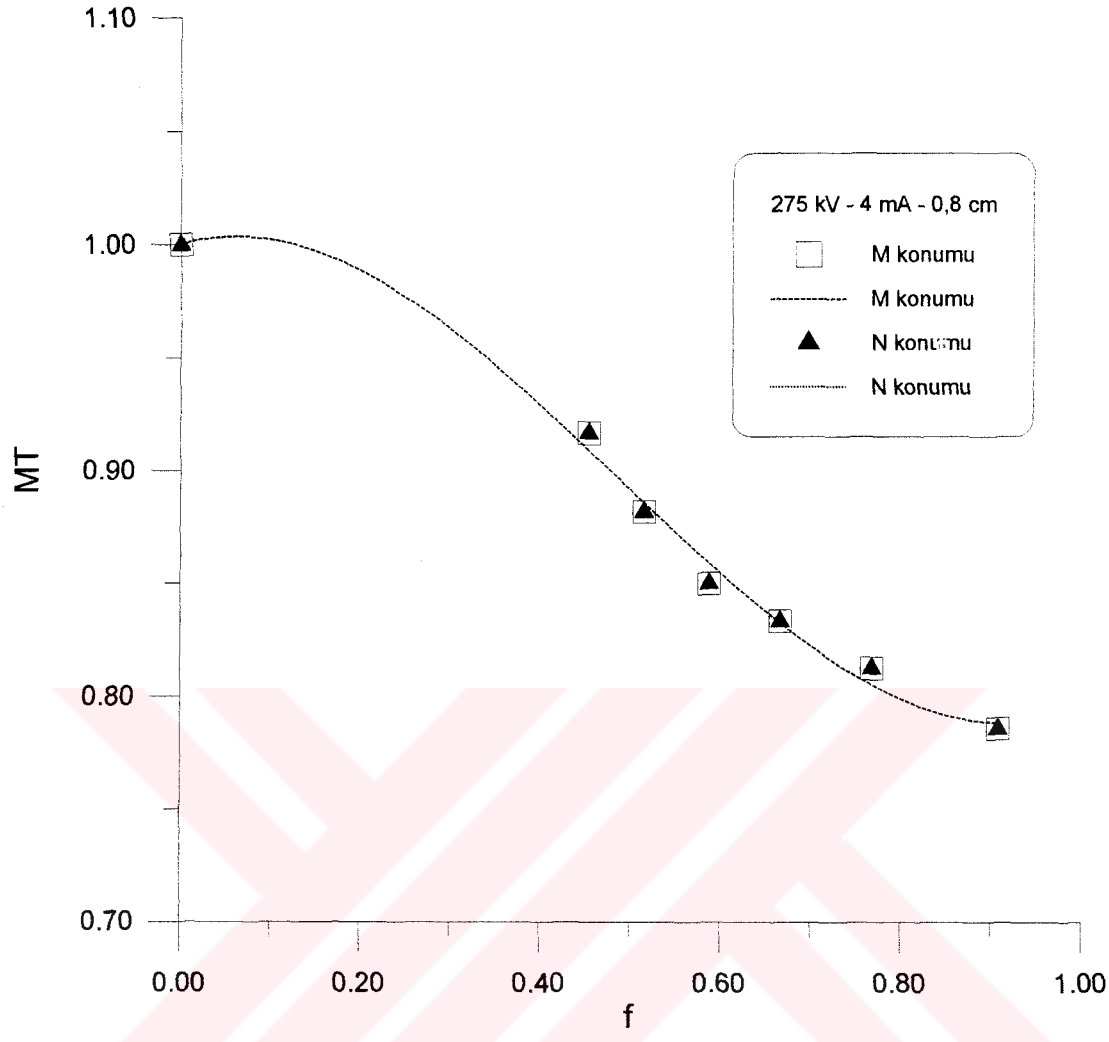


Şekil 5.22 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



Şekil 5.23 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

275 kV gerilim ve 4 mA akım değerlerinde 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.33) çizilen grafik Şekil 5.24'te görülmektedir.



Şekil 5.24 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 4 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

275 kV gerilim ve 5 mA akım değerinde 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 6 farklı süreksizlik konumu için yapılan radyorafi çekimleri sonucunda elde edilen radyograflarda görülebilen her bir çizgi çiftine karşılık modülasyon transferi ve frekans değerleri Tablo 5.34'te verilmiştir.

Tablo 5.34

275 kV ve 5 mA'de 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 6 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 5 mA , Poz süresi: 12 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
4,8 (A konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
4 (B konumu)	0,454545	0,916667
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
2,8 (C konumu)	0,446429	0,933333
	0,485437	0,936364
	0,537634	0,930000
	0,649351	0,855556
	0,746269	0,837500
2 (D konumu)	0,434783	0,958333
	0,476190	0,954545
	0,526316	0,950000
	0,625000	0,888889
	0,714286	0,875000
0,8 (E konumu)	0,427350	0,975000
	0,467290	0,972727
	0,515464	0,970000
	0,602410	0,922222
	0,684932	0,912500
0 (F konumu)	0,427350	0,975000
	0,467290	0,972727
	0,515464	0,970000
	0,602410	0,922222
	0,684932	0,912500

275 kV gerilim ve 5 mA akım değerinde 2,8 cm ve 0,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik konumları için yapılan radyografik çekimler sonucunda elde edilen radyografiarda görülebilen her bir çizgi çiftine karşılık gelen frekans ve modülasyon transferi değerleri sırasıyla Tablo 5.35 ve Tablo 5.36'da verilmiştir.

Tablo 5.35

275 kV ve 5 mA'de 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 4 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen, Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

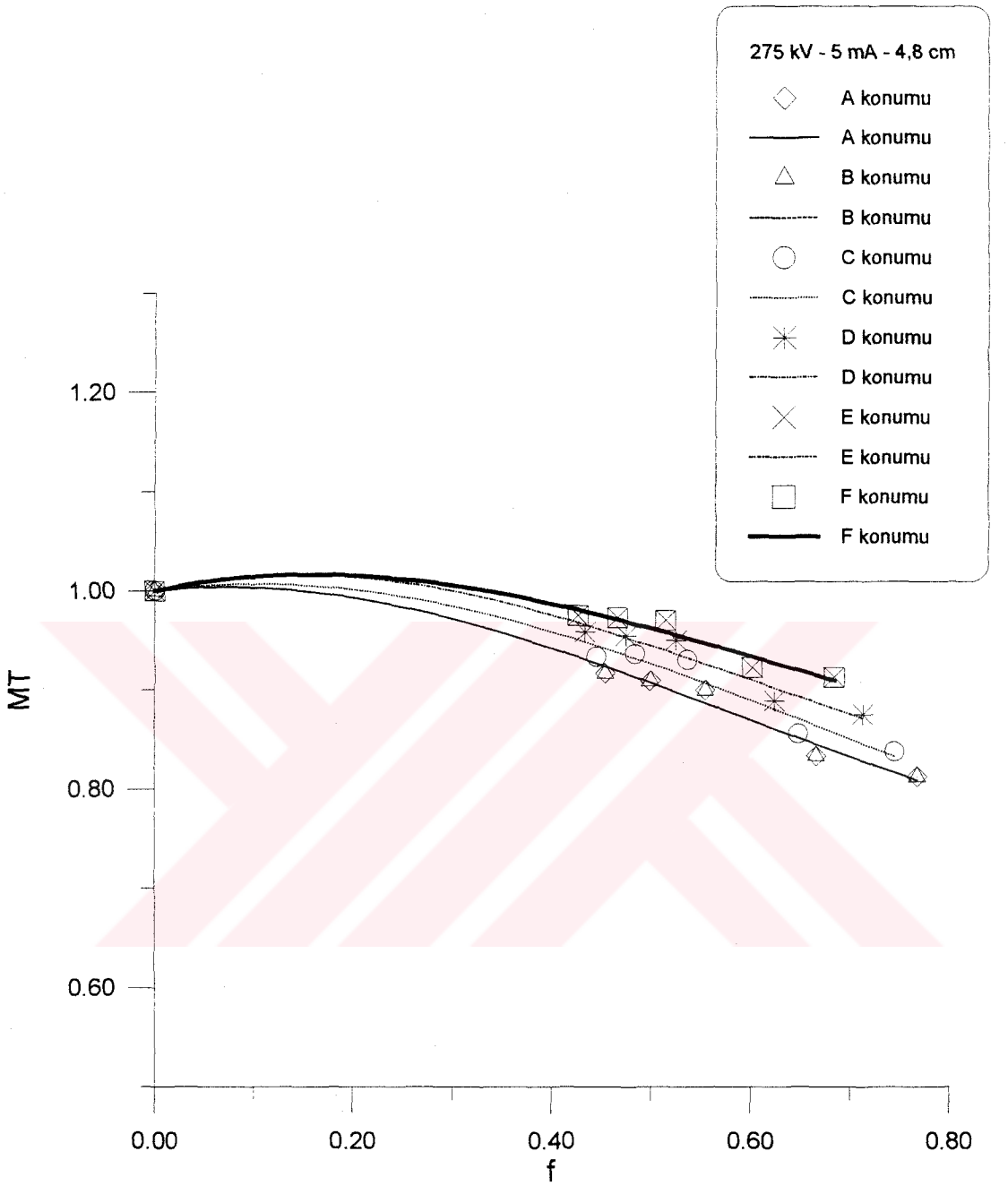
Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 5 mA , Poz süresi: 1,5 dk**	
	f (çç/mm)	**MT**
2,8 (I konumu)	0,476190	0,875000
	0,555556	0,818182
	0,625000	0,800000
	0,714286	0,777778
	0,833333	0,750000
	0,943396	0,757143
2 (J konumu)	0,454545	0,916667
	0,526316	0,863636
	0,588235	0,850000
	0,666667	0,833333
	0,769231	0,812500
	0,909091	0,785714
0,8 (K konumu)	0,434783	0,958333
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,625000	0,888889
	0,714286	0,875000
	0,833333	0,857143
0 (L konumu)	0,434783	0,958333
	0,476190	0,954545
	0,555556	0,900000
	0,602410	0,922222
	0,684932	0,912500
	0,793651	0,900000

Tablo 5.36

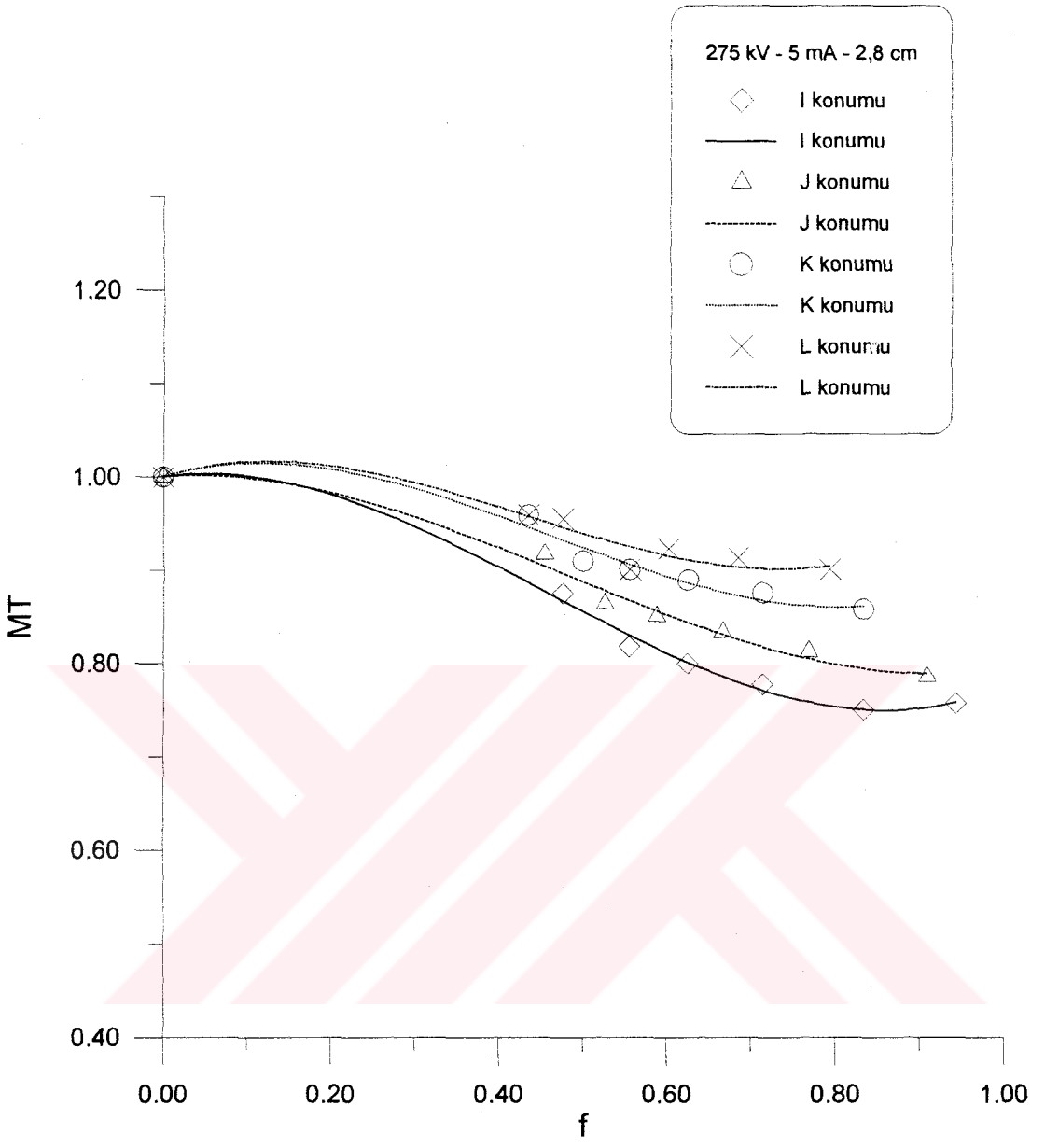
275 kV ve 5 mA'de 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçadaki 2 Farklı Süreksizlik Konumu İçin Elde Edilen Görülebilen Tüm Çizgi Çiftlerine Ait Frekans ve Modülasyon Transferi Değerleri

Süreksizlik Yeri (cm)	**275 kV - 5 mA , Poz süresi: 11 s**	
	f (çç/mm)	**MT**
0,8 (M konumu)	0,434783	0,958333
	0,500000	0,909091
	0,555556	0,900000
	0,625000	0,888889
	0,714286	0,875000
	0,833333	0,857143
0 (N konumu)	0,434783	0,958333
	0,476190	0,954545
	0,526316	0,950000
	0,602410	0,922222
	0,684932	0,912500
	0,793651	0,900000

275 kV ve 5 mA'de 4,8 cm ve 2,8 cm kalınlıklı numune parçaların farklı süreksizlik yerleri için gerçekleştirilen radyografik çekimler sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.34 ve Tablo 5.35) çizilen grafikler sırasıyla Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da görülmektedir.

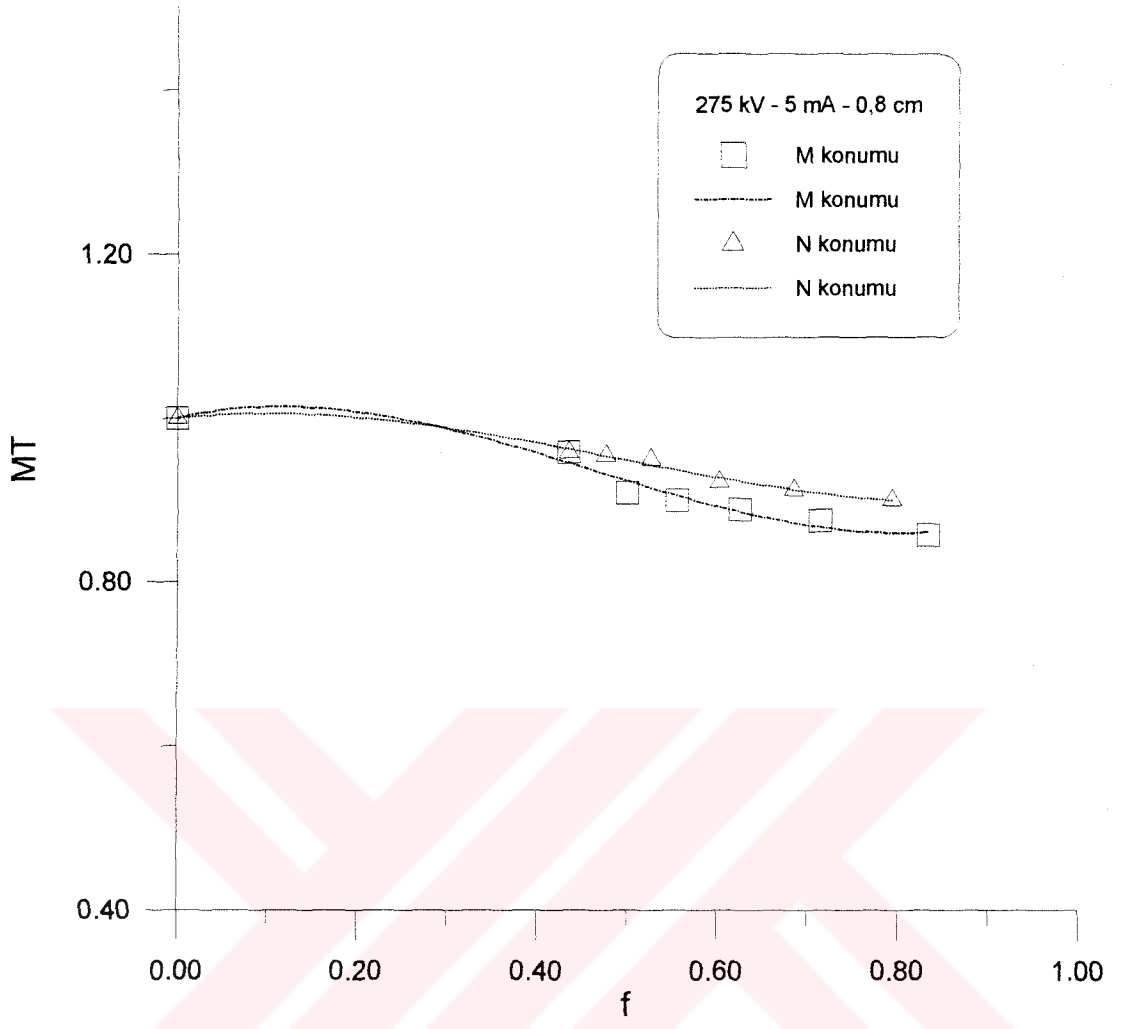


Şekil 5.25 4,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 6 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği



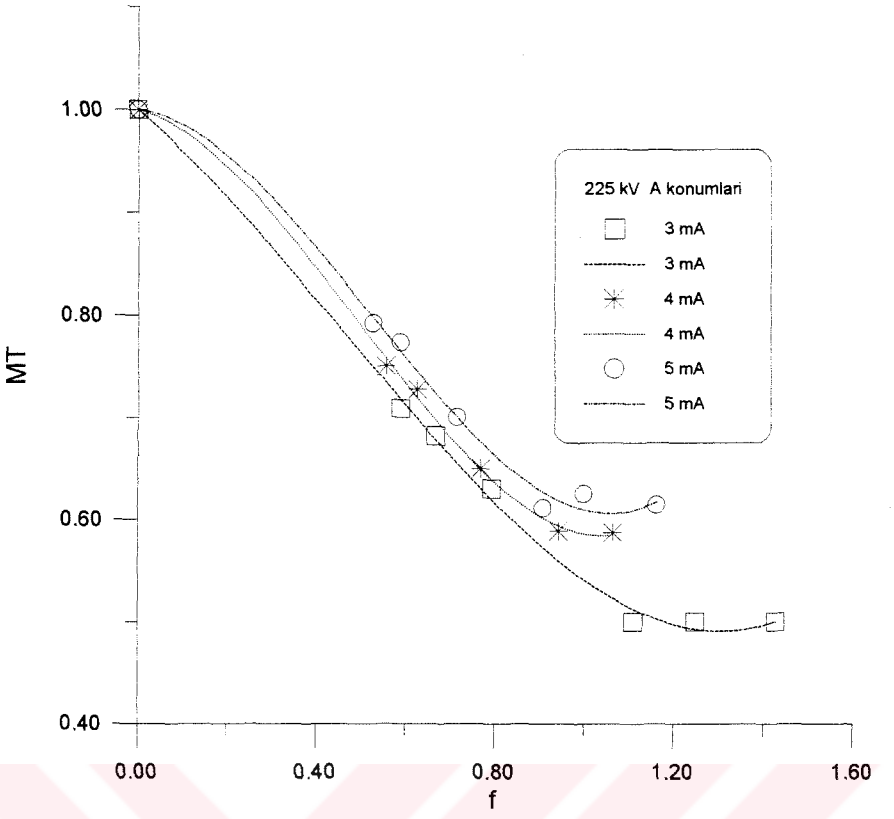
Şekil 5.26 2,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 4 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

275 kV gerilim ve 5 mA akım değerlerinde 0,8 cm kalınlıklı numune parçanın 2 farklı süreksizlik yeri için yapılan radyografi çekimleri sonucunda elde edilen MT ve frekans değerlerinden (Tablo 5.36) çizilen grafik Şekil 5.27'de görülmektedir.

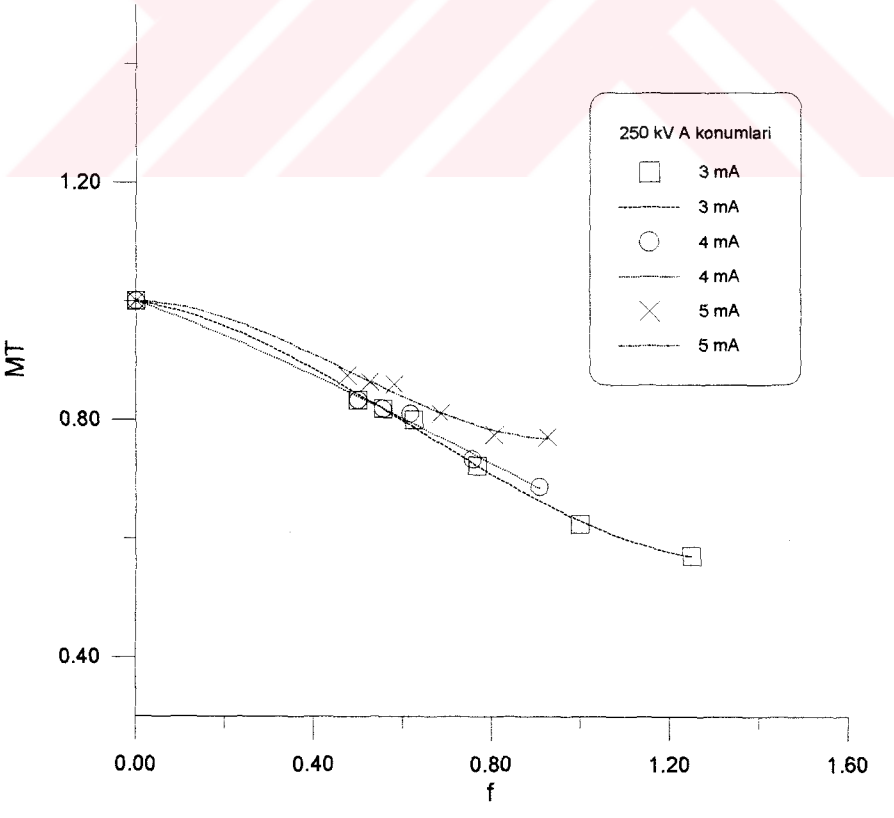


Şekil 5.27 0,8 cm Kalınlıklı Numune Parçanın 2 Farklı Süreksizlik Yeri İçin 275 kV - 5 mA' de Yapılan Radyografi Çekimi Sonucu Elde Edilen MT-f Grafiği

Bu grafiklerden başka, 4,8 cm kalınlıkta süreksizliklerin en üstte olduğu konum olan A konumu için gerilim 225 kV ve 250 kV'ta ayrı ayrı sabit olmak üzere akımın etkisini görebilmek için 3 mA , 4 mA ve 5 mA akımlarda MT - f grafikleri bir arada çizilmiştir. Söz konusu olan grafikler sırasıyla Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da görülmektedir.

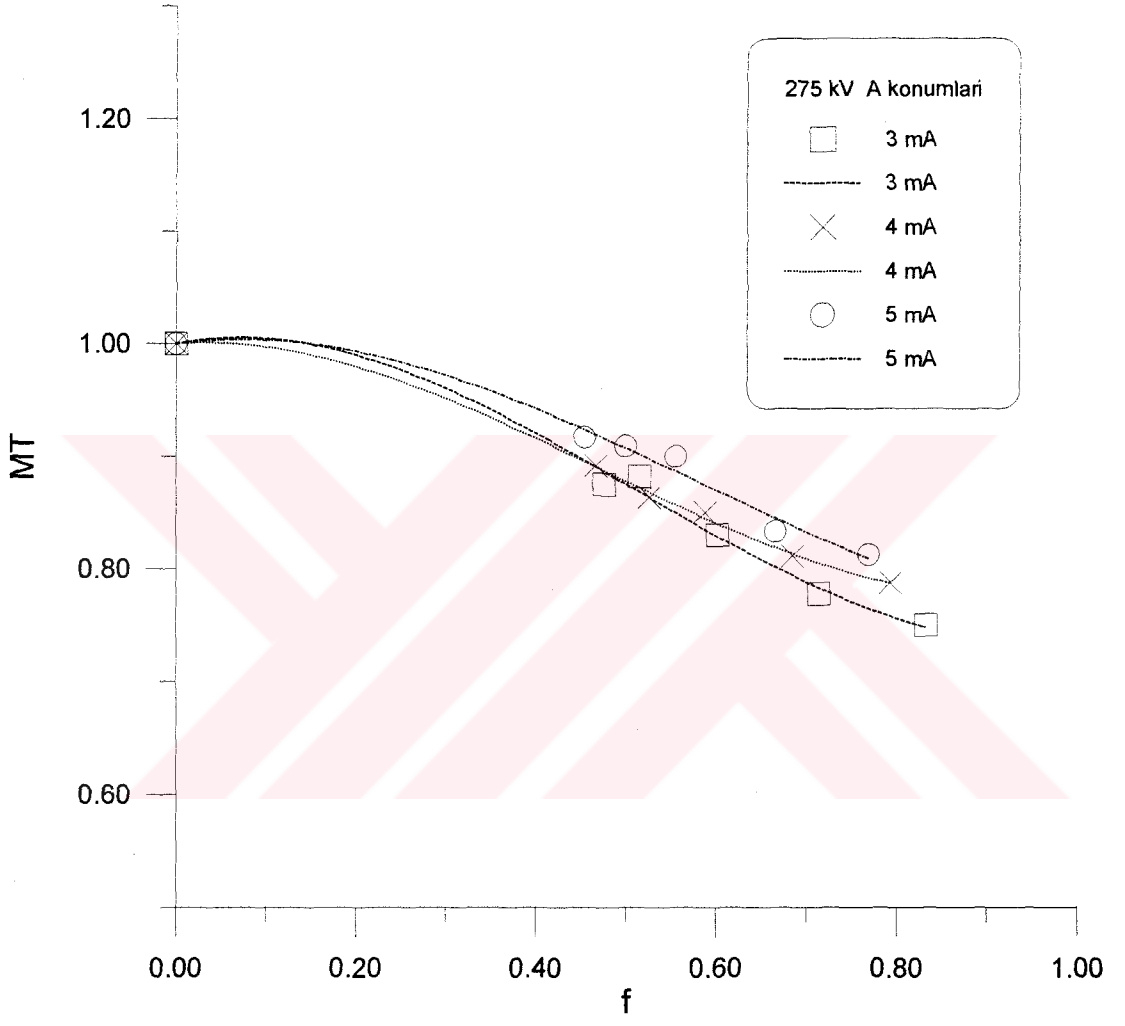


Şekil 5.28 225 kV Sabit Gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f Grafikleri



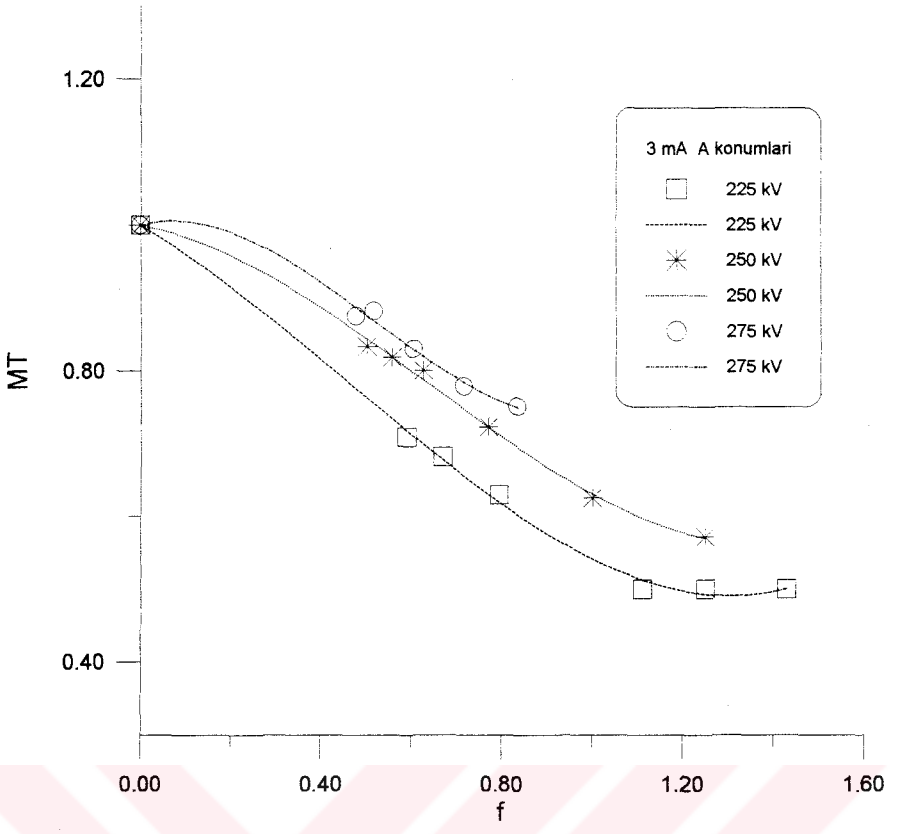
Şekil 5.29 250 kV Sabit Gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f Grafikleri

4,8 cm kalınlıkta süreksizliklerin en üstte olduğu konum olan A konumu için gerilim 275 kV'ta sabit olmak üzere akımın etkisini görmek için 3 mA , 4 mA ve 5 mA akımlarda çizilen MT-f grafikleri Şekil 5.30'da görülmektedir.

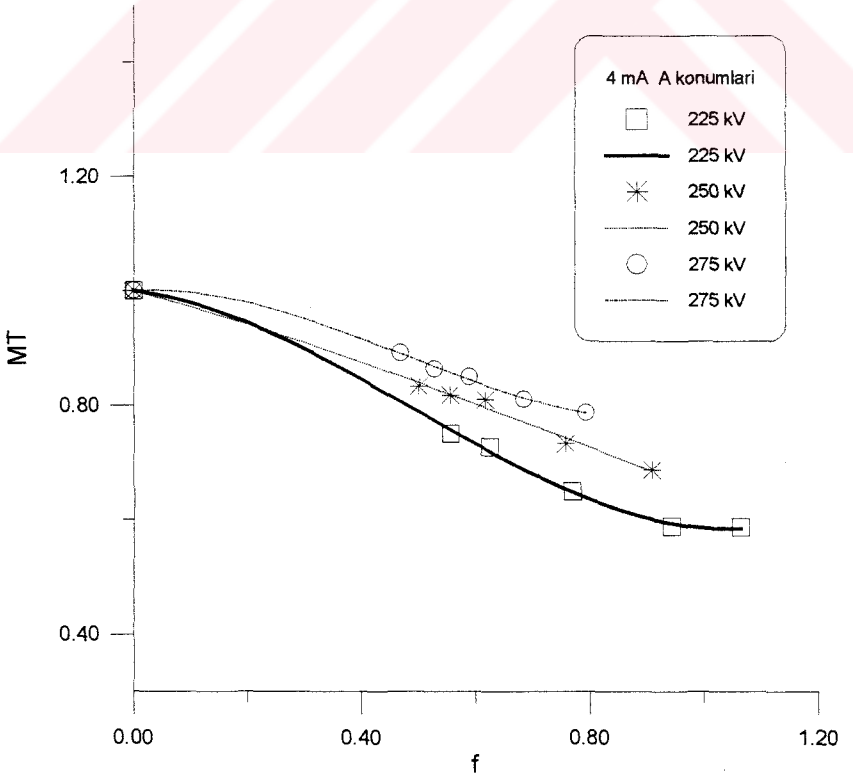


Şekil 5.30 275 kV Sabit Gerilimde ve 3 mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f Grafikleri

4,8 cm kalınlıkta yine süreksizliklerin en üstte olduğu konum olan A konumu için akım 3 mA ve 4 mA'de ayrı ayrı sabit olmak üzere, gerilimin etkisini görmek için 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde MT-f grafikleri bir arada çizilmiştir. Söz konusu olan bu grafikler sırasıyla Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de görülmektedir.

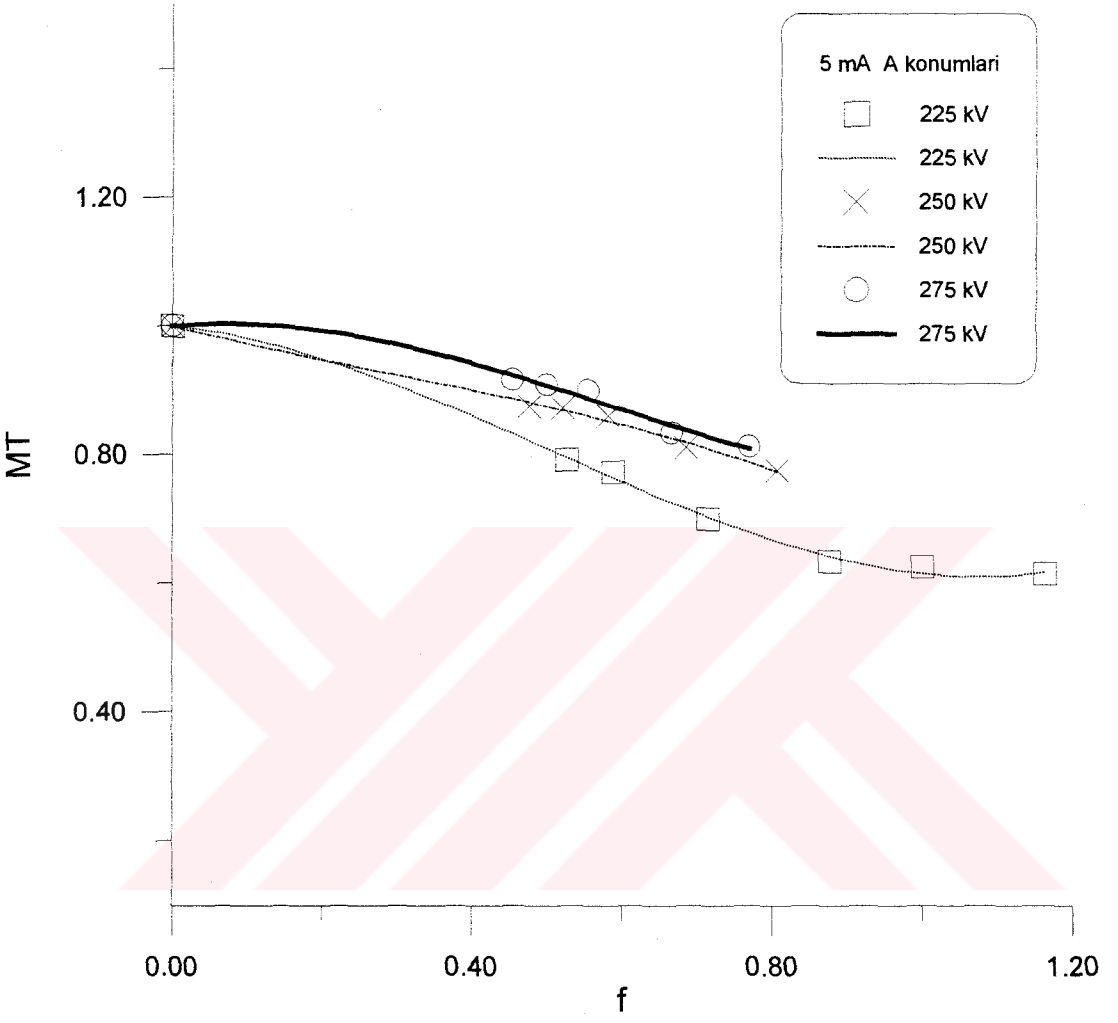


Şekil 5.31 3 mA Akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV Gerilim Değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f Grafikleri



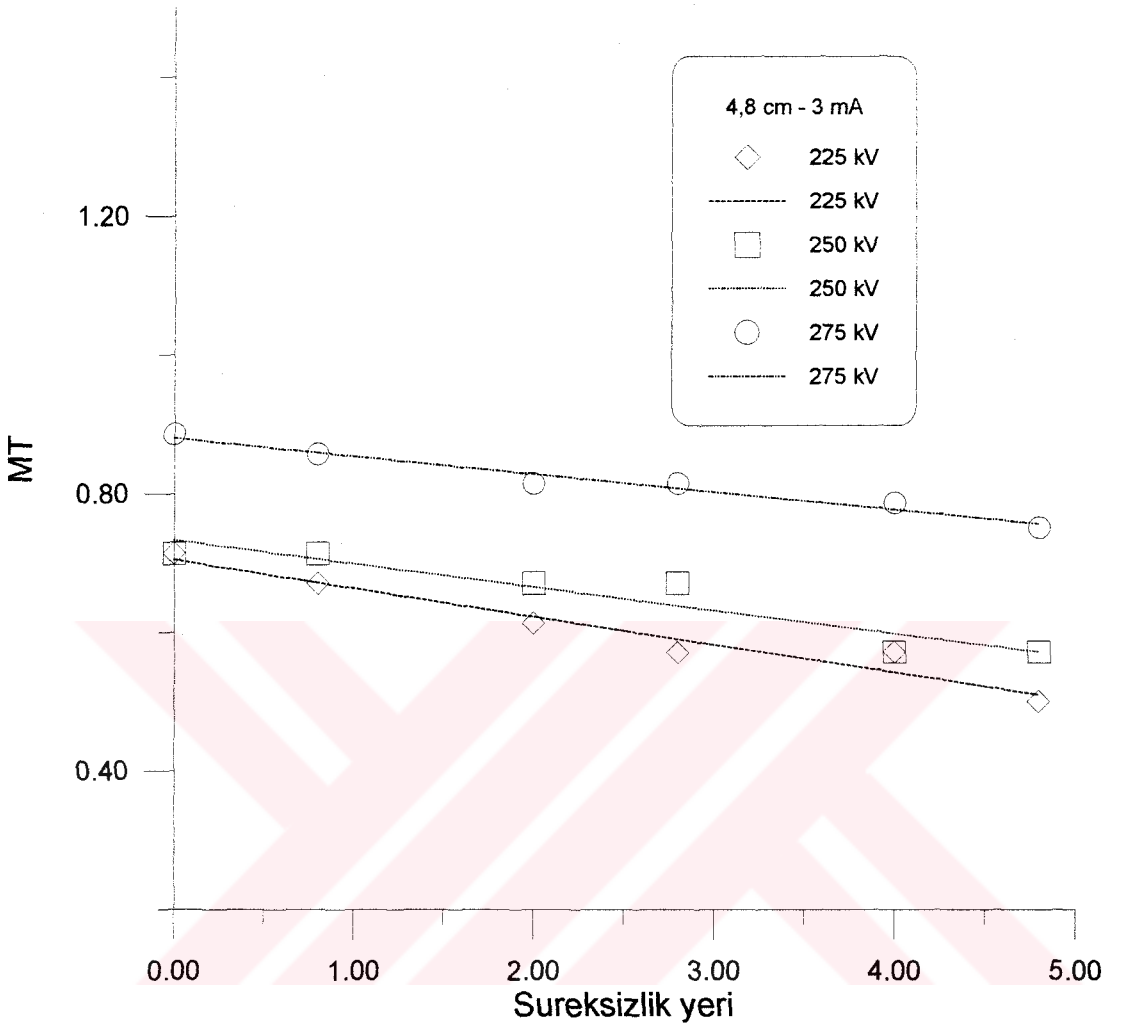
Şekil 5.32 4 mA Akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV Gerilim Değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f Grafikleri

4,8 cm kalınlıkta A konumu için akım 5mA'de sabit iken 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde çizilen MT-f grafikleri Şekil 5.33'te görülmektedir.



Şekil 5.33 5 mA akımda 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerindeki A Konumlarına Ait MT-f grafikleri

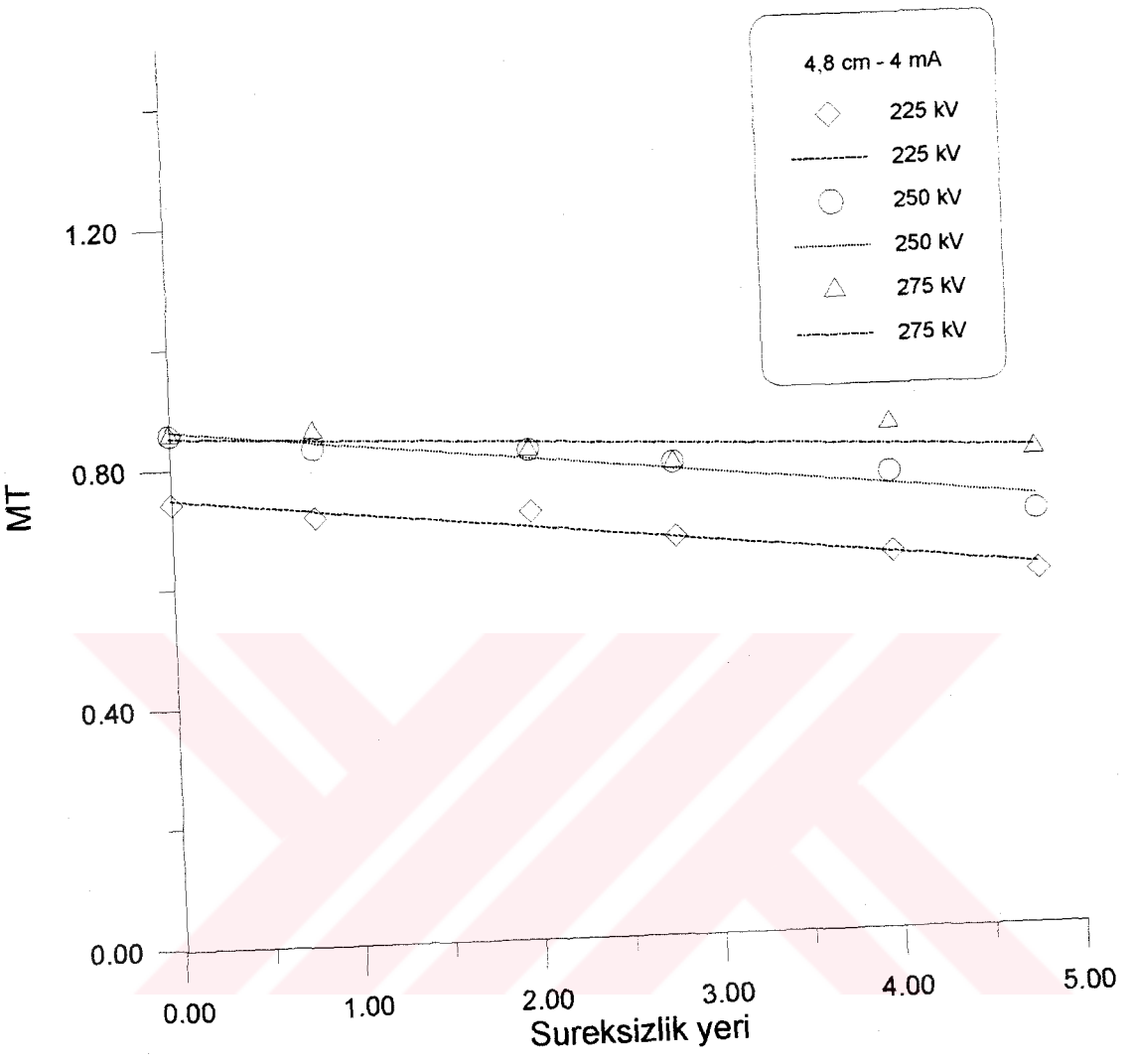
Modülasyon transferinin süreksizlik yerine göre değişimini görmek için 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 3 mA akım, 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumundaki görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.10, Tablo 5.19 ve Tablo 5.28) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.34'te görülmektedir.



Şekil 5.34 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin 3 mA Akımda, 225 kV, 250 kV ve 275 kV Gerilim Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

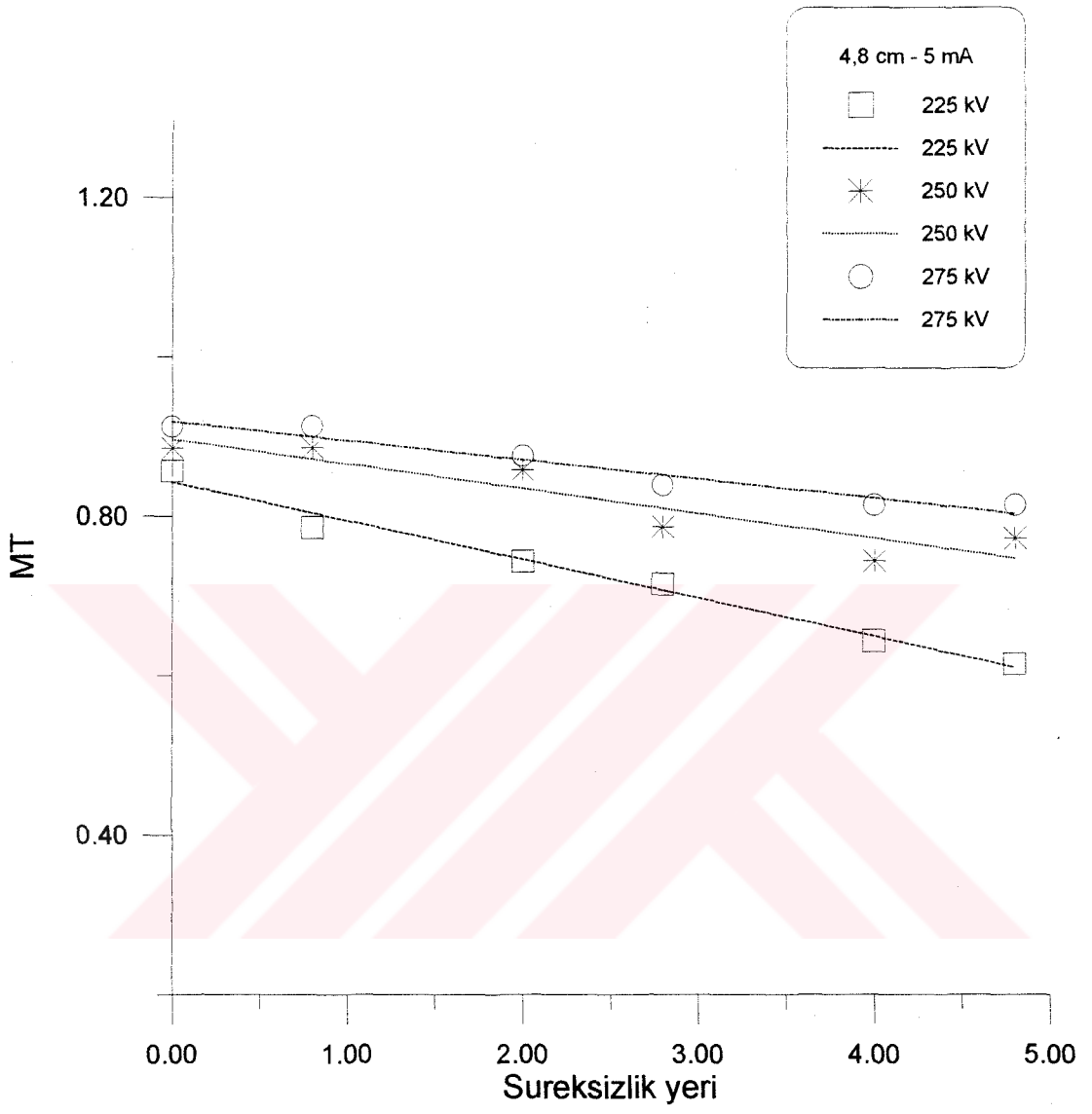
4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 4 mA akım, 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumundaki görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.13, Tablo 5.22, Tablo 5.31) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.35'te görülmektedir.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 5.35 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin 4 mA Akımda, 225 kV, 250 kV ve 275 kV Gerilim Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

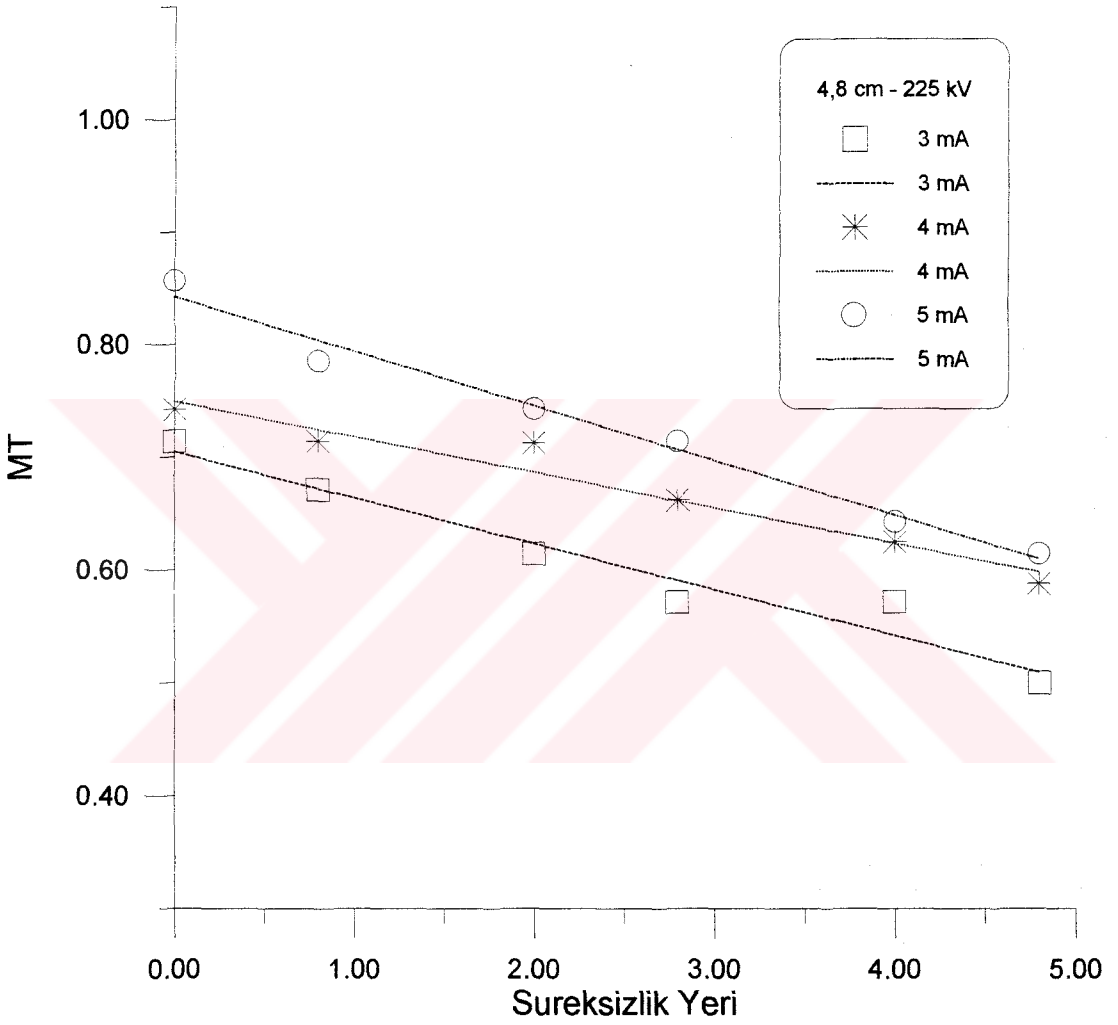
Yine 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın bu kez 5 mA akım, 225 kV, 250 kV ve 275 kV gerilim değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumunda görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.16, Tablo 5.25, Tablo 5.34) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.36'da görülmektedir.



Şekil 5.36 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin 5 mA Akımda, 225 kV, 250 kV ve 275 kV Gerilim Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

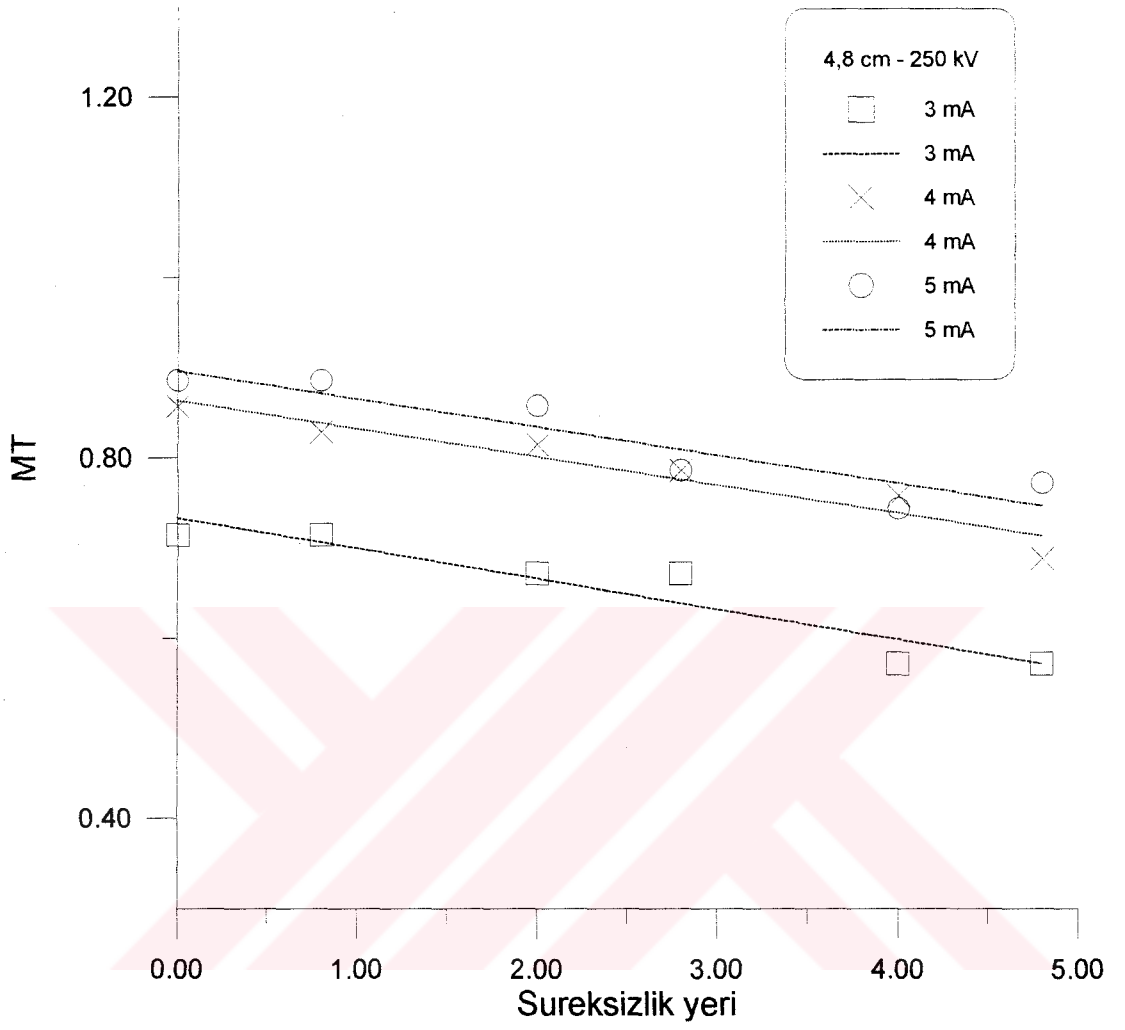
Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da MT'nin süreksizlik yerine göre ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Ayrıca söz konusu grafiklerden akım sabit iken gerilim arttığında MT'nin arttığı görülmektedir.

Modülasyon transferinin süreksizlik yerine ve akıma göre değişimini görmek için 4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 225 kV sabit gerilim değerinde 3 mA, 4mA ve 5 mA akım değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumunda görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.10, Tablo 5.13 ve Tablo 5.16) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.37'de görülmektedir.



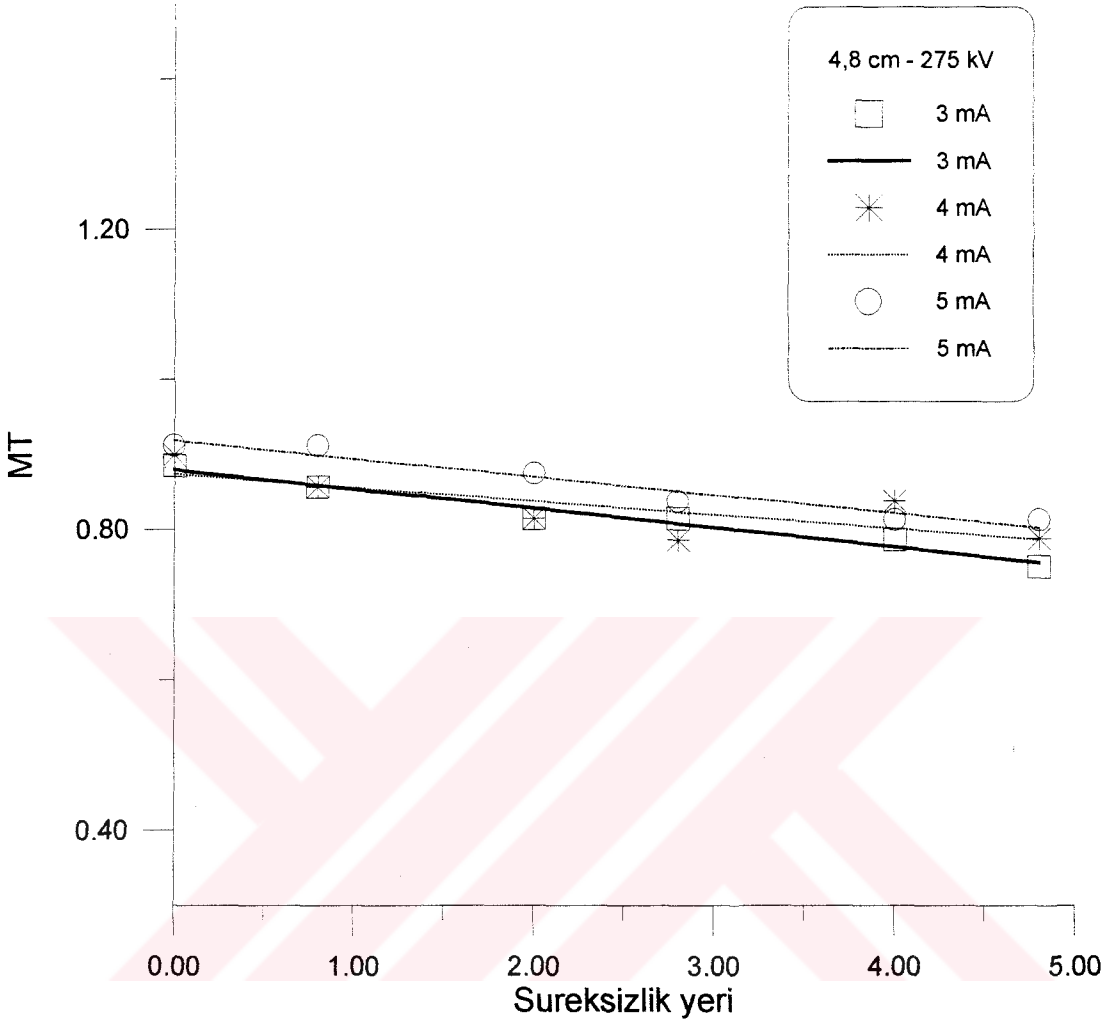
Şekil 5.37 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin, 225 kV Gerilim, 3mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 250 kV sabit gerilim değerinde 3 mA, 4mA ve 5 mA akım değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumunda görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.19, Tablo 5.22 ve Tablo 5.25) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.38'de görülmektedir.



Şekil 5.38 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin, 250 kV Gerilim, 3mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

4,8 cm kalınlıklı numune parçanın 275 kV sabit gerilim değerinde 3 mA, 4mA ve 5 mA akım değerlerinde 6 farklı süreksizlik konumunda görülebilen en ince çizgi çiftine karşı gelen MT değerlerinden (Tablo 5.28, Tablo 5.31 ve Tablo 5.34) yararlanılarak çizilen grafikler Şekil 5.39'da görülmektedir



Şekil 5.39 4,8 cm Kalınlıklı Numune İçin, 275 kV Gerilim, 3mA, 4 mA ve 5 mA Akım Değerlerinde MT'nin Süreksizlik Yerine Göre Değişimi

Şekil 5.37, Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'dan yine MT'nin süreksizlik yerine göre ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Ayrıca söz konusu grafiklerden gerilim sabit iken akım arttığında MT'nin arttığı görülmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, endüstriyel radyografi içinde yer alan X-ışını radyografi tekniği uygulamasıyla elde edilen radyografik görüntü kalitesinin süreksizlik tayini bağlamında değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, özel olarak hazırlanmış ve süreksizlikleri temsil eden kanallar içeren, çelikten yapılmış silindirik blok şeklindeki numunelerde süreksizlik tayini için X-ışını radyografi çekimleri yapılmıştır.

X-ışını radyografi çekimlerinin genel değerlendirilebilmesi için endüstriyel uygulamalarda rutin olarak kullanılmakta olan 54109 DIN Normu (Fe) penetremetreleri ile çekimler yapılmıştır. Ayrıca, radyograf değerlendirmede dikkat edilen çekim parametreleri ve elde edilen film kararma yoğunlukları titizlikle belirlenmiştir.

X-ışını radyografi çekimleri, aynı malzemenin farklı kalınlıkları ve farklı süreksizlik yerlerine ilişkin (Tablo 4.1 ve Şekil 4.5 – Şekil 4.16) olarak, önemli radyografik çekim parametreleri olan akım ve gerilimin değiştirilmesiyle hep aynı tip radyografik film ve film ekranı kullanımıyla (Tablo 4.4 – Tablo 4.6) aynı film-kaynak mesafesinde gerçeklenmiştir (Şekil 4.19). Radyografik çekimlere ilişkin poz süreleri, çekim parametreleri, parça kalınlığı ve malzemesine uygun olarak (Şekil 4.22) belirlenmiştir. Bir başka deyişle, mukayesenin kolay olması bakımından söz konusu çekim parametreleri ile çalışılmış, sadece uygun poz süresi belirlemesi yapılmıştır.

Radyografik çekimleri takiben, kullanılan filme uygun, hep aynı film banyosu malzemesi (Tablo 4.2) kullanılmış ve tüm çekilen filmler, aynı banyo işlemlerinden (Tablo 4.3) geçirilmiştir. Elde edilen radyografların film yoğunlukları densitometre yardımı ile dikkatle tayin edilmiştir.

Titizlikle gerçeklenen X-ışını radyografi çekimleri sonucunda elde edilen radyografların, endüstriyel radyografi değerlendirmesi bağlamında "iyi" olarak nitelenebilecek mertebede radyograflar olduğu anlaşılmıştır. Nitekim, söz konusu radyografların değerlendirmesine ilişkin hazırlanan Tablo 5.1 – Tablo 5.9'da tüm radyografların film kararma yoğunluklarının 2 – 3,5 arasında olduğu ve penetremetre yardımı ile tayin edilen hassasiyetlerin % 2'nin altında olduğu belirlenmiştir. Böylelikle, elde edilen radyografların standartlara uygunluğu rasyonel şekilde tayin edilmiştir.

Burada, belirli bir gerilim ve akım değerinde, süreksizlik konumları farklı olduğu halde aynı kalınlıktaki numunelerin radyografi çekimleri sonucunda elde edilen radyografların hassasiyetleri birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur. Ayrıca, tüm radyografların film kararma yoğunluklarının ortalama 2,5 (± 0,5) olduğu söylenebilir. Bu husus da, çekim parametrelerinin tayininde takip edilen lojik yöntem bağlamında beklenti doğrultusunda bir sonuç olmaktadır.

Elde edilen bu sonuçlarla yetinilmeyip, lojik manada, X-ışını radyografi çekimlerinin değerlendirilebilmesi için modülasyon transferi bağlamında değerlendirmeye gidilmiştir. Bu husus, çalışmanın başından hedeflendiğinden süreksizliklerin modülasyon transferi değerlendirmesi için uygun olarak nitelenebilecek, farklı kalınlıklı kare kanallar şeklinde olması seçilmiştir. Böylelikle, birbirine yakın şartlar için dahi ayırımlı değerlendirmelerin yapılabileceği düşünülmüştür. Görüntü kalite değerlendirmesinde önemli bir lojik değerlendirme olan modülasyon transferi bağlamında elde edilen sonuçlar Tablo 5.10 – Tablo 5.36'da verilmiştir.

Elde edilen radyograflardan; gerilimin 225 kV'da sabit tutulması ve üç akım değerinde çalışılması halinde, üç parça kalınlığı durumunda, toplam 12 farklı süreksizlik yeri için elde edilen modülasyon transferi bağlamında ulaşılan sonuçları Şekil 5.1 – Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu grafiklerde, her parça kalınlığı için modülasyon transferi eğrilerinin en yüksek değerleri süreksizliklerin en altta olduğu durumlar için aldığı görülmektedir. Buna karşın, süreksizliklerin en üstte olduğu durumların ise grafiklerde (en altta) en düşük değerleri aldığı gözlenmektedir. Bu durum, beklenti doğrultusunda olup, süreksizliğin en üstte olduğu halde yarı gölge açısından en sorunlu olması yarı gölge oluşumunun doğası gereği olmaktadır.

Benzer şekilde, gerilimin 250 kV'da ve 275 kV'da sabit tutulması aynı şartlar halinde ulaşılan sonuçlar, sırasıyla Şekil 5. 10 – Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 – Şekil 5.27'de verilmiştir. Bu grafiklerde de, her parça kalınlığı için modülasyon transferi eğrilerinin en yüksek değerleri süreksizliklerin en altta olduğu durumlar için buna karşın en düşük değerleri süreksizliklerin en üstte olduğu durumlar için aldığı gözlenmektedir. Bu durum da yine yarı gölge oluşumunun doğası gereği olarak beklenti doğrultusundadır.

Modülasyon transferi çerçevesinde buraya kadar elde edilen sonuçlar bağlamında en sorunlu durumun süreksizliğin en üstte bir başka deyişle filme en uzak konumda olması halinde olduğu gösterildikten sonra, bu hale ilişkin en kalın parça kalınlığı (4,8 cm) için (A – Konumu) farklı gerilim değerleri için akım değişimi incelemesi yoluna gidilmiştir (Şekil 5.28 – Şekil 5.30). Elde edilen grafiklerde akım değeri yükseldikçe modülasyon transferi değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu husus, çalışılan X-ışını hüzmesinin kantitatif değerinin (çalışma sınırları içinde kalmak şartıyla) yükselmesinin önemli ve modülasyon transferini pozitif yönde etkileyen bir çalışma parametresi olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, A konumunda farklı akım değerleri için gerilimin değişiminin incelemesi de yapılmıştır (Şekil 5.31 – Şekil 5.33). Elde edilen grafiklerde gerilim değeri yükseldikçe modülasyon transferi değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Bu husus, çalışılan X-ışını hüzmesinin kalitatif değerinin (çalışma sınırları içinde kalmak şartıyla) yükselmesinin önemli ve modülasyon transferini pozitif yönde etkileyen bir çalışma parametresi olduğunu göstermektedir.

Bunlardan ayrı olarak, modülasyon transferinin süreksizlik yerine göre incelemesi de yapılmıştır. Bu amaçla çalışılan en büyük kalınlıklı parça (4,8 cm) için süreksizlik yeri farklılıklarına (A, B, C, D, E, F konumlarına) ilişkin görülebilen en ince kanal göz önüne alınarak oluşturulan grafikler; çalışılan akım değerlerinde (Şekil 5.34 – Şekil 5.36) ve çalışılan gerilim değerlerinde (Şekil 5.37 – Şekil 5.39) çizilmiştir.

Şekil 5.34 – Şekil 5.39 grafikleri; süreksizlik yeri filme yaklaştıkça, bir başka deyişle süreksizlik film mesafesi azaldıkça modülasyon transferi yükselmekte, tersine olarak,

Şekil 5.34 – Şekil 5.39 grafikleri; süreksizlik yeri filme yaklaştıkça, bir başka deyişle süreksizlik film mesafesi azaldıkça modülasyon transferi yükselmekte, tersine olarak, süreksizlik yeri filmden uzaklaştıkça modülasyon transferi düşmektedir. Yine bu eğrilerden de görülmektedir ki; akım ve gerilim değerlerinin (çalışma sınırları içinde kalmak şartıyla) yükselmesi modülasyon transferi bağlamında görüntü kalitesini pozitif yönde etkileyen bir çalışma parametresi olmaktadır.

Öz olarak söylemek istersek, X-ışını radyografisi ile X-ışını radyografi uygulama sınırları içinde farklı akım ve gerilim çalışma parametreleri ve farklı süreksizlik yerleri için radyografik çekimler yapılmış ve bu çekim parametreleri ile süreksizlik yerlerinin radyografik görüntüye etkileri lojik değerlendirmelerle rasyonel şekilde yapılabilmiştir.

KAYNAKLAR

Akıncı, Ş.B., 1996. Endüstriyel Radyografide Farklı Zemin Ortamlarının Saçılma Etkisinin Görüntü Kalitesine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Becker, G.L., 1990. Radiographic NDT, Du Pont NDT Systems, Wilmington.

Bilge, A.N. ve Tuğrul, B., 1990. Endüstriyel Radyografinin Esasları, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.

Bilge, A.N., 1991. Endüstride Nükleer Teknikler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul.

Bray, D.E. and McBride, D., 1992. Nondestructive Testing Techniques, John Wiley & Sons Inc., New York.

Bray, D.E. and Stanley, R.K., 1989. Nondestuctive Evaluation, McGraw-Hill Book Company, New York.

Bulubay, Ü., 1995. Co-60 ile çelik parçaların radyografisi için oluşturulan tek ve çift Ön ekranların ağırlıklı ortalama yöntemiyle değerlendirilmesi, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Bulubay, Ü. and Tuğrul, A.B., 1998. Quantitative evaluation of intensifying screen materials in Co-60 radiography for steel parts, *NDT & International,* **31,** 193-199.

Curry, T.S., Dowdey, J.E. and Murry, R.C., 1990. Christensen's Physics of Diagnostic Radiology, Lea & Febiger, Philedelphia.

Duman, M., 2000. Radyografi ile kaynak dikişi kontrolu, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Halmshaw, R., 1991. Nondestructive Testing, Hodder & Stoughton Ltd., London.

Halmshaw, R., 1995. Industrial Radiology:Theory and Practice, Chapman & Hall, London

Hiss, S.S., 1993. Understanding Radiography, Charles C Thomas Publisher, Illinois.

Huang, H.K., 1987. Elements of Digital Radiology A Professional Handbook and Guide, Prentice-Hall Inc., NJ.

Johns, H.E. and Cunningham J.R., 1983. The Physics of Radiology, Charles C Thomas, Illinois.

Kaelble, E.F., 1967. Handbook of X-Rays, McGraw-Hill Book Company, NY.

Lamarch, J.R., 1977. Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Publishing Company.

Mcgonnagle, W.J., 1991. International Advances in Nondestructive Testing, Gordon and Beach Science, Philedelphia.

McGraw-Hill Book Company, 1960. McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, New York.

Mix, P.E., 1987. Introduction to Nondestructive Testing, John Wiley & Sons, New York.

Özden, N., 1972. Tahribatsız Muayeneler ve Gelişme İstikametleri, T.B.T.A.K.

Parker, S.P., 1987. McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology, New York.

Quinn, R.A. and Sigl, C.C., 1980. Radiography in Modern Industry, Eastman Kodak Company, New York.

Sharpe, R.S., 1985. Research Techniques in Nondestructive Testing, Academic Press, London.

Şişman, F.Ç., 1992. Radyografik performans ve görüntü rezolüsyonu tayini, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Tobin, K.W., Brenizer, J.S. and Mait, J.N., 1989. Modulation transfer function technique for real time radioscopic system characterization, *Applied Optics,* **28,** 5002-5009.

TS-11245, 1994. Kaynak terimleri ve tarifleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Tuncel, N., 1994. Farklı tahribatsız muayene metotlarıyla malzeme hatalarının tesbiti, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, G., 1999. Radyografik Hata Tesbiti, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Bulgaristan'da doğdu. 1978 yılında Türkiye'ye geldi. Orta öğrenimini tamamladıktan sonra, 1995 yılında Marmara üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik bölümüne girdi ve buradan 1999 yılında mezun oldu. 1999-2000 eğitim-öğretim döneminde İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Bekar olup, ingilizce bilmektedir.