

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİNAMİK YOĞUNLUK AYARLI RADYOTERAPİ
UYGULAMALARINDA ÇOK YAPRAKLI DEMET
BİÇİMLENDİRİCİLERİN DEĞİŞKEN
HIZLARININ SAPTANMASI İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR
KALİTE GÜVENİLİRLİK TESTİ**

Mehmet Ferat KIRAN

**Radyoterapi Fiziği Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA
2013**

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİNAMİK YOĞUNLUK AYARLI RADYOTERAPİ
UYGULAMALARINDA ÇOK YAPRAKLI DEMET
BİÇİMLENDİRİCİLERİN DEĞİŞKEN
HIZLARININ SAPTANMASI İÇİN GELİŞTİRİLMİŞ BİR
KALİTE GÜVENİLİRLİK TESTİ

Mehmet Ferat KIRAN

Radyoterapi Fiziği Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Prof.Dr. Gökhan ÖZYİĞİT

ANKARA
2013

Anabilim Dalı: Radyasyon Onkolojisi

Program: Radyoterapi Fiziği

Tez Başlığı: Dinamik Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Uygulamalarında Çok Yapraklı Demet Biçimlendiricilerin Değişken Hızlarının Saptanması İçin Geliştirilmiş Bir Kalite Güvenilirlik Testi

Öğrenci Adı-Soyadı: Mehmet Ferat Kıran

Savunma Sınavı Tarihi: 10.01.2013

Bu çalışma jürimiz tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Murat Gürkaynak
H.Ü. Tıp Fakültesi

Danışman: Prof. Dr. Gökhan Özyiğit
H.Ü. Tıp Fakültesi

Üye: Prof. Dr. Mustafa Cengiz
H.Ü. Tıp Fakültesi

Üye: Prof. Dr. Ferah Yıldız
H.Ü. Tıp Fakültesi

Üye: Doc. Dr. Şeyda Çolak
H.Ü. Mühendislik Fakültesi

Onay

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve sınav yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Mustafa Kadri Altundağ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında her zaman her şeyi danışabildiğim, yardım ve desteğini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Gökhan ÖZYİĞİT 'e,

Hacettepe Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı başkanı sayın Prof.Dr. Murat GÜRKAYNAK'a,

Değerli hocalarım Prof.Dr. Mustafa CENGİZ'e, Prof.Dr. Ferah YILDIZ'a, Prof.Dr. Fadıl AKYOL'a, Prof.Dr. Faruk ZORLU'ya, Doç.Dr. Şeyda ÇOLAK'a,

Tez çalışmam esnasında verdikleri destekten dolayı Talip YOLCU, Mehmet Ertuğrul ERTÜRK, Demet YILDIZ, Ali DOĞAN'a

Tez ölçümlerim esnasında yardımları esirgemeyen arkadaşlarım Hüseyin KIVANÇ, Abdülmecit CANBOLAT, F.Yağız YEDEKÇİ'ye

Değerli yardımlarından dolayı Levent Koç'a,

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen ve yanımda olan aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

KIRAN. M.F. Dinamik Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Uygulamalarında Çok Yapraklı Demet Biçimlendiricilerin Değişken Hızlarının Saptanması İçin Geliştirilmiş Bir Kalite Güvenilirlik Testi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Radyoterapi Fiziği Programı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2013. Dinamik Yoğunluk Ayarlı Radyoterapide yaprak hızlarının kontrolü tedavinin doğruluğu açısından önemlidir. Bu çalışmada Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) yapabilen cihazların çok yapraklı kolimatörlerinin (ÇYK) anlık değişen hızlarının saptanması için geliştirilen bir kalite güvenilirlik testinin oluşturulması amaçlanmıştır. Dinamik YART'de yaprak hızlarının kontrolü tedavinin doğruluğu açısından önemlidir. Kalite güvenilirliği testi birim saniyede maksimum 30 görüntü alabilen dijital kamera kullanılarak yaprakların anlık hızlarının tayini ve bu hızların yaprak konum bilgilerini depolayan Dynalog dosyalarıyla karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

Dijital kamera yardımıyla alınan verilerin analizi sonucunda belirli açılarda tedavi planı ve uygulama açısından farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu değerler Varian lineer hızlandırıcıda, 0°'de A taşıyıcısı için ortalama %3 (p=0.04) ve B taşıyıcısı için ortalama %1 (p=0.3), 90°'de A taşıyıcısı için ortalama %3 (p=0.3) ve B taşıyıcısı için ortalama %1 (p=0.2), 270°'de A taşıyıcısı için ortalama %1 (p= 0.8) ve B taşıyıcısı için ortalama %8 (p= 0.02) bulunmuştur.

Novalis lineer hızlandırıcıda ise 0°'de A taşıyıcısı için ortalama %0.3 (p=0.07) ve B taşıyıcısı için ortalama %4 (p=0.06), 90°'de A taşıyıcısı için ortalama %0.2 (p=0.9) ve B taşıyıcısı için ortalama %1 (p=0.3), 270°'de A taşıyıcısı için ortalama %0.7 (p=0.3) ve B taşıyıcısı için ortalama %1 (p=0.1) bulunmuştur.

Geliştirdiğimiz kalite güvenilirlik testi yaprakların anlık hızlarının tayininde başarılı olmuştur ve cihaz verileriyle karşılaştırıldığında kullanılabilir sonuçlara ulaşılmıştır. Yoğun kliniklerde ve her hasta için tekrarı zamansal

gereksinimler göz önüne alındığında üç aylık periyotlarla yapılmasını tavsiye etmekteyiz

Anahtar kelimeler: YART kalite kontrolü, Çok Yapraklı Kolimatör, Değişken Yaprak Hızları

ABSTRACT

KIRAN, M.F. A Quality Assurance Test for Determining the Variable Velocities of Multi Leaf Collimator in Dynamic Intensity Modulated Radiotherapy Applications. Hacettepe University Institute of Health Sciences, Master of Science. Thesis in Radiotherapy Physics Program, Ankara, 2013.

Quality Assurance of the leaf velocities is important for the accuracy of treatment in Dynamic Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT). The aim of this study is generating a quality assurance test for determining the variable velocities of multi leaf collimator for the linear accelerators which have the option IMRT. The basis of test is the determination of the velocities by the aid of a digital camera recording 30 frames per second and comparing the results with the dynalog files of treatment machine. We observed significant differences between data of dynalog files and digital camera results. These values are determined as; at Varian linear accelerator 0° for carriage A %3 (p=0.04) average, for carriage B %1 (p=0.3) average, 90° for carriage A %3 (p=0.3) average, for carriage B %1 (p=0.2) average, 270° for carriage A %1 (p=0.8) average, for carriage B %8 (p=0.02) average.

The results of the Novalis linear accelerator are; 0° for carriage A %0.3 (p=0.07) average, for carriage B %4 (p=0.06) average, 90° for carriage A %0.2 (p=0.9) average, for carriage B %1 (p=0.3) average, 270° for carriage A %0.7 (p=0.3) average, for carriage B %1 (p=0.1) average.

The quality assurance test that we generate is successfully determine the velocity values of multi leaf collimators and we have usable results when we check the machine data. We recommend the use of the test as a period of 3 month when we consider the time necessity for each patient in institutes.

Key words: IMRT QA, multi leaf collimator, variable leaf velocities

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış. vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xv
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Lineer Hızlandırıcılar.....	2
2.1.1 Varian Clinac DHX Lineer Hızlandırıcı.....	3
2.1.2 Brainlab Novalis Lineer Hızlandırıcı.....	3
2.2 Çok Yapraklı Kolimatör Sistemi.....	4
2.3 Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Planlama.....	7
2.3.1 YART'de İleri Planlama.....	7
2.3.2 YART'de Ters Planlama.....	7
2.4 YART Teknikleri.....	8
2.4.1 Statik ÇYK Tekniği.....	8
2.4.2 Dinamik ÇYK Tekniği.....	8
2.5 Varian Eclipse Tedavi Planlama Sistemi.....	8
2.6 İplan Tedavi Planlama Sistemi.....	9
2.7 Dynalog Dosyaları.....	10
2.8 İstatistiksel Analiz.....	11

3	GEREÇ VE YÖNTEM	12
3.1	Araç-Gereç	12
3.1.5	Dijital Kamera.....	12
3.1.6	Matlab Programı.....	12
3.1.7	Dynalog Dosya Görüntüleyici.....	13
3.2	YÖNTEM	14
4	BULGULAR	26
4.1	Varian DHX Lineer Hızlandırıcıdan Elde Edilen Sonuçlar.....	26
4.1.1	Dynalog Dosyalarından Elde Edilen Sonuçlar.....	26
4.1.2	Varian DHX lineer hızlandırıcıda dijital kamera ile alınan yaprak bilgilerinin Matlab programıyla analizinden elde edilen sonuçlar.....	33
4.1.3	Dijital Kamera ölçüm sonuçlarıyla Dynalog dosyalarının sonuçlarının karşılaştırılması.....	39
4.2	Brainlab Novalis Lineer Hızlandırıcıdan Elde Edilen Sonuçlar.....	42
4.2.1	Dynalog Dosyalarından Elde Edilen Sonuçlar.....	42
4.2.2	Brainlab Novalis lineer hızlandırıcıda dijital kamera ile alınan yaprak bilgilerinin Matlab programıyla analizinden elde edilen sonuçlar...50	
4.2.3	Dijital Kamera ölçüm sonuçlarıyla Dynalog dosyalarının sonuçlarının karşılaştırılması	57
5	TARTIŞMA.....	62
6	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
7	KAYNAKLAR:	66
	EK1	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BT:	Bilgisayarlı Tomografi
cm:	Santimetre
ÇYK:	Çok Yapraklı Kolimatör
DVF:	DynaLog File Viewer
EPG:	Elektronik Portal Görüntüleme
LH:	Lineer Hızlandırıcı
mm:	Milimetre
MV:	Megavolt
MeV:	Megaelektron Volt
MRG:	Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)
OAR:	Risk Altındaki Organ
PET:	Pozitron Emisyon Tomografisi
PTV:	Planlanan Hedef Hacim
RMS:	Root Mean Square
s:	Saniye
SPSS:	Statistical Packge For Social Sciences
TPS:	Tedavi Planlama Sistemi
YART:	Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 2.1. Radyoterapide kullanılan elektron hızlandırıcıların genel görünüşü.	2
Şekil 2.1.1. Varian Clinac DBX lineer hızlandırıcı cihazı.	3
Şekil 2.1.2. Brainlab marka Novalis lineer hızlandırıcı.	4
Şekil 2.2.1. Çok yapraklı kolimatör.	6
Şekil 2.2.2. Çok yapraklı kolimatör mekanik ve elektronik yapısı.	6
Şekil 2.5. Varian Eclipse tedavi planlama sistemi.	9
Şekil 2.6. İplan planlama sistemi.	10
Şekil 3.1.6. Matlab programı.	13
Şekil 3.1.7. Dynalog dosya görüntüleyici.	13
Şekil 3.2.1. Yönteme ait akış şeması.	14
Şekil 3.2.2. 0° açıda alınan görüntü örneği	15
Şekil 3.2.3. 0° açıda ölçüm düzeneği.	16
Şekil 3.2.4 90° açıda alınan görüntü örneği.	16
Şekil 3.2.5. 90° açıda ölçüm düzeneği.	17
Sekil 3.2.6. 270° açıda alınan görüntü örneği.	17
Şekil 3.2.7. 270° açıda ölçüm düzeneği.	18
Şekil 3.2.8. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	18
Şekil 3.2.9. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	19
Şekil 3.2.10. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	19
Şekil 3.2.11. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	20
Şekil 3.2.12. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	20
Şekil 3.2.13. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	21
Şekil 3.2.14. 90 derece açıda alınan görüntü örneği.	21
Şekil 3.2.16. 270 derece açıda alınan görüntü örneği.	22
Sekil 3.2.17. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	23
Şekil 3.2.18. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	23

Şekil 3.2.19. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	24
Şekil 3.2.20. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	24
Şekil 3.2.21. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	25
Şekil 3.2.22. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.	25
Şekil 4.1. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	27
Şekil 4.2. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	27
Şekil 4.3. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	28
Şekil 4.4. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	28
Şekil 4.5. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	29
Şekil 4.6. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	29
Şekil 4.7. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	30
Şekil 4.8. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	30
Şekil 4.9. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	31
Şekil 4.10. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	31
Şekil 4.11. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	32
Şekil 4.12. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	32
Şekil 4.13. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	33
Şekil 4.14. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	34
Şekil 4.15. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.	34
Şekil 4.16. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	35
Şekil 4.17. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	35
Şekil 4.18. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	36
Şekil 4.19. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.	36
Şekil 4.20. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	37
Şekil 4.21. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	37

Şekil 4.22. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	38
Şekil 4.23. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.	38
Şekil 4.24. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	39
Şekil 4.25. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	43
Şekil 4.26. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	43
Şekil 4.27. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	44
Şekil 4.28. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	44
Şekil 4.29. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	45
Şekil 4.30. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	46
Şekil 4.31. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	46
Şekil 4.32. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	47
Şekil 4.33. A ve B yaprakları için RMS hata verileri.	48
Şekil 4.34. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.	48
Şekil 4.35. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.	49
Şekil 4.36. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.	49
Şekil 4.37. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	50
Şekil 4.38. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	51
Şekil 4.39. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak Numaralarına göre doz dağılım histogramı.	51
Şekil 4.40. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	52
Şekil 4.41. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	53
Şekil 4.42. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	53
Şekil 4.43. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.	54

Şekil 4.44. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	54
Şekil 4.45. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.	55
Şekil 4.46. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.	56
Şekil 4.47. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.	56
Şekil 4.48. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.	57

TABLolar

	Sayfa
Tablo 4.1. 0° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	40
Tablo 4.2. 90° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	41
Tablo 4.3. 270° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	42
Tablo 4.4. 0° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	58
Tablo 4.5. 90° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	59
Tablo 4.6. 270° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.	60

1. GİRİŞ

Günümüzde kanser tedavisinde önemli bir rol oynayan radyoterapide iyonizan radyasyonun hücre üzerindeki etkisinden faydalanılıp kanserli alanın tedavisi amaçlanmıştır(1). Radyoterapide kullanılan tekniklerin temel amacı; hedeflenen bölgeye istenilen dozu verirken, hedef bölgenin çevresindeki sağlıklı doku ve organları maksimum oranda korumaktır (1,2).

Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) konformal bir tekniktir ve üç boyutlu radyoterapi tekniklerinin gelişmiş bir şeklidir. YART'da ışınlama alanları Çok Yapraklı Kolimatörler (ÇYK) yardımıyla alt alanlara bölünürler ve her alt alanda farklı yoğunluklarda radyasyon dozu verilebilir (1,2,3).

Radyasyonun farklı yoğunluklarda verildiği bu yöntemde birden fazla hızlı doz değişim bölgesi vardır ve kompleks ÇYK pozisyonları gerekir. Tedavi süreleri konvansiyonel tekniklere göre uzarken, bu sorunun çözümü olarak lif hızları maksimum düzeye çekilmeye çalışılmıştır (4,5). Bu yeniliklerle birlikte YART'de dinamik ÇYK kullanımı konvansiyonel dozimetrik yöntemleri yetersiz kılmış ve yeni teknikler arayışına girilmiştir (6). Bu noktada film dozimetri ÇYK davranışları için kullanılmayı denemiş fakat filmin okunması için gerekli uzun bekleme süresi ve kullanım zorluğu gibi sıkıntılarla karşılaşmıştır (7). Elektronik Portal Görüntüleme bir çözüm olarak sunulmuş olsa da (8), lif hızlarının ölçümünde yetersiz kaldığı görülmüştür.

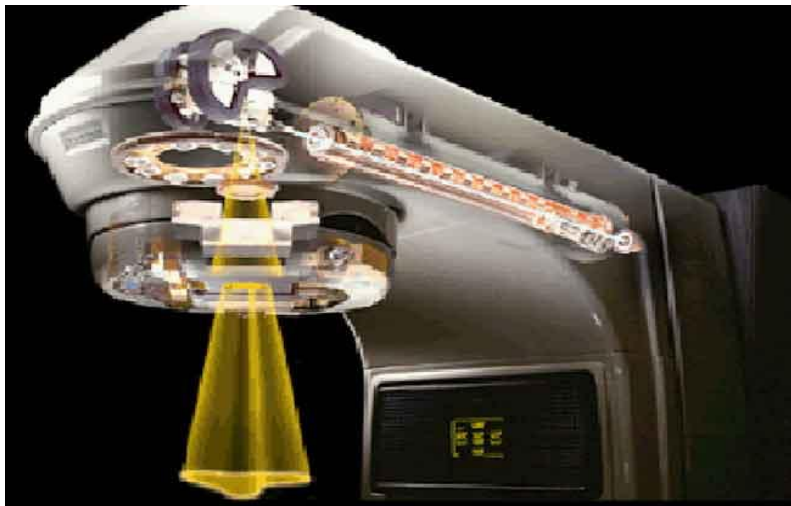
Bu tez çalışmasında dinamik YART'de ÇYK değişken hızlarının kalite kontrolü için yeni bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin temeli yaprak hareketlerini kamera yardımıyla görüntüleyip fotoğraflara dönüştürmek, fotoğraflar arası zamansal farklılıktan faydalanarak yaprakların hız bilgilerine ulaşmaktır. Sonrasında bu hız bilgileri cihazın

kaydettiği hız bilgileriyle karşılaştırılarak sistemin kalite kontrolü yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Lineer Hızlandırıcılar

Lineer hızlandırıcılar (LH) yüklü parçacıkların elektrik alan ve manyetik alan altındaki davranışlarından yararlanır ve günümüzde medikal uygulamalarda da oldukça sık kullanılmaktadır (9). Lineer hızlandırıcılar radyoterapide elektron hızlandırmakta kullanılır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Radyoterapide kullanılan elektron hızlandırıcıların genel görünüşü.

Elektron tabancası yardımıyla üretilen elektronlar, sistemde mikrodalga üreticinin ürettiği mikrodalga yardımıyla hızlandırılırlar. İstenilen enerjiye gelen elektronlar bükücü magnetler yardımıyla saptırılarak kafa yapısına yönlendirilir. Bu noktada eğer x ışını tedavisi uygulanacaksa elektronlar tungsten hedefe çarptırılarak Bremsstrahlung etkileşimi sonrası x ışını üretilir. Üretilen x ışını hasta üzerine aktarılacağında alan büyüklüğünün ayarlanması adına birincil kolimatörler ve çok yapraklı kolimatörlerden faydalanılır (9,1).

2.1.1. Varian Clinac DHX Lineer Hızlandırıcı

Anabilim dalımızda bulunan Varian marka C serisi lineer hızlandırıcı cihazı, 4, 6, 9, 12, 15 ve 18 MeV değerinde altı kademe elektron enerjisine ve 6 MV ve 18 MV değerinde iki kademe foton enerjisine sahiptir. 40 çift tungsten alaşımdan yapılmış ÇYK sistemine sahiptir. ÇYK sistemi sayesinde koruma bloklarına ihtiyaç duymaz. En küçük alan boyutu 0,5x0,5 cm en büyük alan boyutu 40x40 cm dir. İzomerkezde yaprakların izdüşümünde bir yaprağın genişliği 1 cm' dir. ÇYK yapraklarının kalınlığı 56 mm' dir. Yaprakların hareketi her bir yaprağa ait birbirinden bağımsız motorlar tarafından yapılır. Varian marka Clinac DBX model cihaz, bilgisayarlı planlama sistemi sayesinde statik ve dinamik YART tekniklerinde tedavi yapılabilmektedir. Elektronik portal görüntüleme sistemi ile port kontrolü elektronik ortamda yapılabilmektedir (13) (Şekil 2.1.1).



Şekil 2.1.1 Varian Clinac DBX lineer hızlandırıcı cihazı.

2.1.2. Brainlab Novalis lineer hızlandırıcı.

Kliniğimizde bulunan Brainlab marka Novalis lineer hızlandırıcı tek enerjilidir. 6 MV foton enerjisinin kullanıldığı hızlandırıcıda YART ve stereotaktik

radoterapi teknikleri hasta tedavisinde kullanılmaktadır. 26 çift tungstenden yapılmış mikro ÇYK sistemine sahiptir. En büyük alan boyutu 10x10 cm dir. ÇYK kalınlıkları, 3 milimetre olan 28 yaprak, 4.5 milimetre olan 12 yaprak ve 5.5 milimetre 12 yaprak vardır.

Brainlab marka Novalis lineer hızlandırıcısında bilgisayarlı planlama sistemi sayesinde statik ve dinamik YART ve ARK tekniklerinde tedavi yapılabilmektedir. ExactTrac görüntüleme ve dijital takip sistemi sayesinde hasta tedavilerinde kesinlik oranı yüksek olan cihazda buna ek olarak otomatik masa sistemi vardır (14) (Şekil 2.1.2).



Şekil 2.1.2 Brainlab marka Novalis lineer hızlandırıcı.

2.2. Çok Yapraklı Kolimatör Sistemi

Radyoterapinin gelişimiyle birlikte kolimatörler de gerek hız gerekse yapı olarak gelişmek zorunda kalmıştır. Konvansiyonel tekniklerde kullanılan asimetric-simetric alan açmakla sınırlı kolimatörlere ek olarak çoklu bağımsız hareket kabiliyeti olan çok yapraklı kolimatörler(ÇYK) geliştirilmiştir (9,3) (Şekil 2.2.1).

Kalınlıkları 2-7 mm yükseklikleri 7-10 cm arasında değişen çok yapraklı kolimatörler, genellikle tungstenden üretilirler ve yapraklar arası sızıntıyı minimuma indirecek şekilde tasarlanmıştır. ÇYK'ler üç boyutlu konformal

radoterapi uygulamalarında statik olarak kritik yapıları koruma amaçlı kullanılırken, gelişen teknoloji ve bilgisayarlı planlama sistemleri sayesinde, yoğunluk ayarlı radyoterapi tekniğinde önemli rol almışlardır (9) (Şekil 2.2.2).

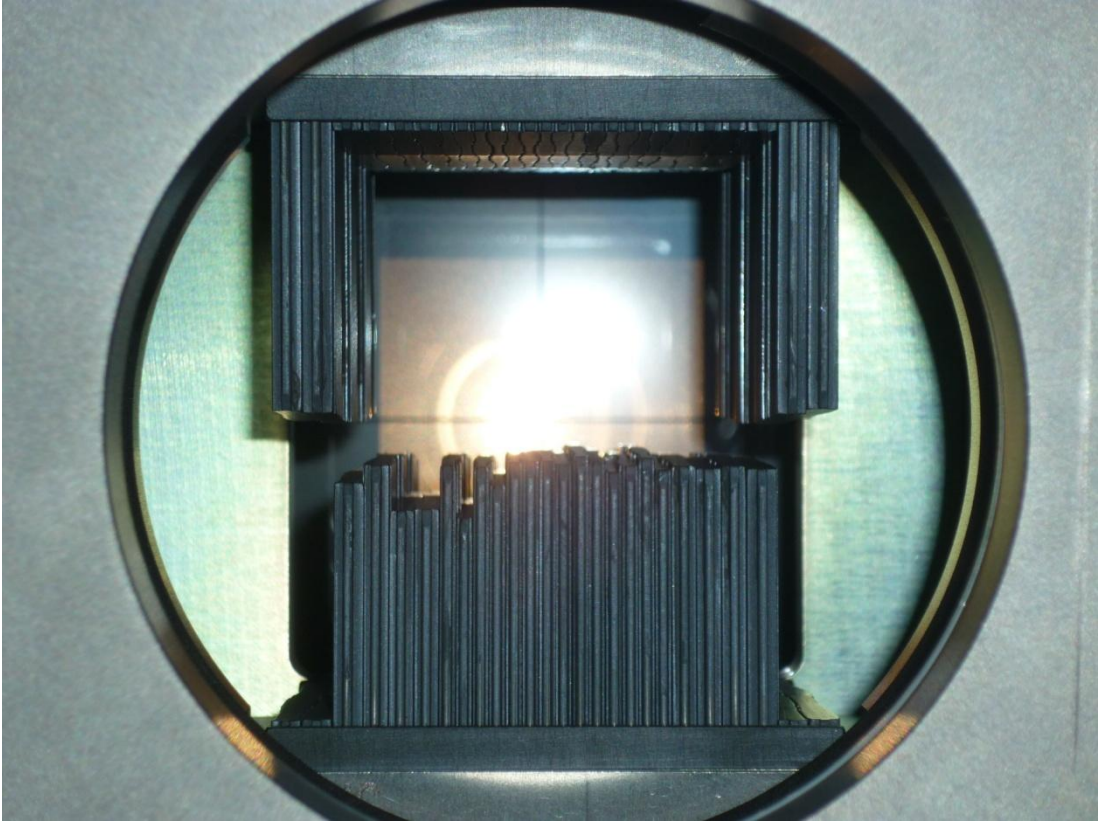
ÇYK'ler genellikle bir bilgisayar yardımıyla işlevsel hale gelirler. İş istasyonu bilgisayarı olarak tanımlanan sistem kullanıcı ara yüzünü oluşturur. Bu bilgisayar merkezi işlem ünitesi yardımıyla ÇYK'lerin işlevlerini kontrol eder. Görevleri arasında ÇYK'lerin işlevselliğini sağlamak, istasyon bilgisayarıyla ve klinik konsolla iletişim sağlamak, ÇYK'lerin pozisyonlanmasını sağlamak gösterilebilir.

Sistemin önemli unsurlarından bir tanesi de, motor iletişim kartlarıdır. Bu kartlar fiber optik iletişim bağlantılarıyla elektronik kontrol ünitesi ve ÇYK ana elektronik sistemi arasında iletişimi sağlar. Her kart iki fiber optik bağlantıya sahiptir. İlki cihaz kafasına kontrol sinyallerini yollarken ikincisi kafadan konum bilgisini alır. Motor iletişim kartlarının bir diğer görevi de yaprakları ve taşıyıcıları hareket ettirmek için gerekli algoritmaları sağlamaktır. Planlanmış konum bilgisi ve gerçek konum bilgisini karşılaştırarak gerekli düzeltmeleri sağlayacak hareketleri denetler. A ve B taşıyıcıları birer adet motor iletişim kartına sahiptir.

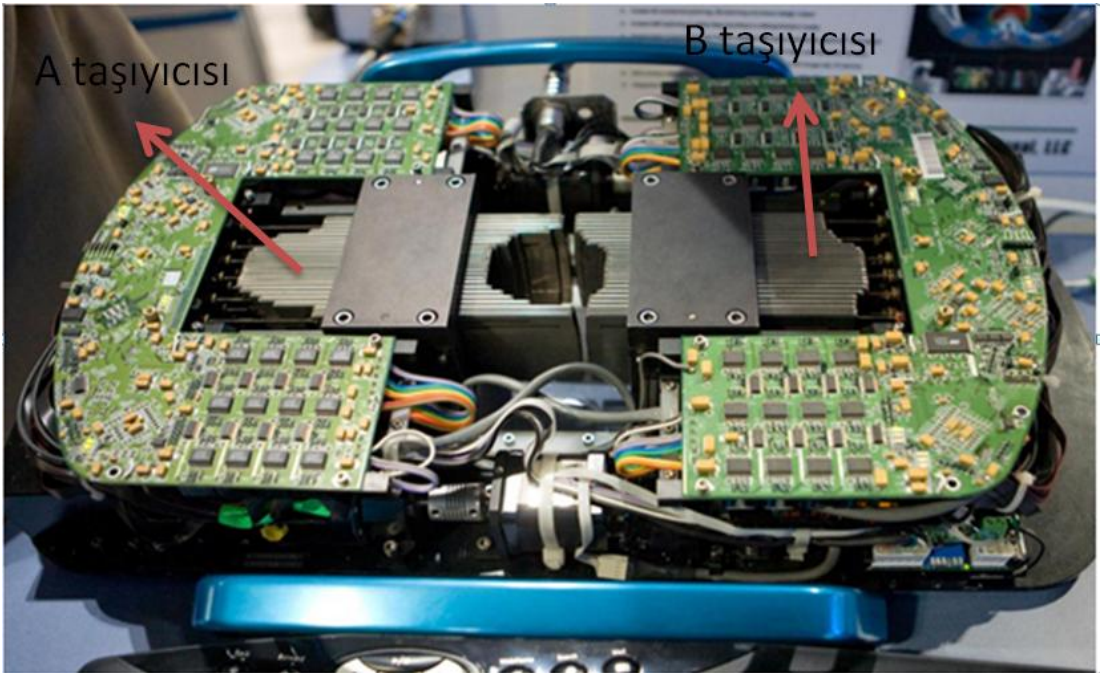
Yaprakların hareketini ise motorlar sağlar. Her yaprak kendi motoruna sahiptir. Bu motorlara güç sağlama işlemi Atım Genişliği Modülasyonu adı verilen bir teknikle gerçekleştirilir. Bu teknikte güç motorlara atımlar şeklinde ve döngüsel olarak verilir. Bu sayede her bir motorun hareket hızı belirlenmiş olur.

Yaprakların pozisyonlarının oluşturulması işlemi ise bir optik alıcı ve kızılötesi verici yardımıyla yapılır. Bir başlangıç referans oluşturulması için tasarlanan sistem bir kızılötesi ışının bir kolimasyon aralığından geçerek aralarında 90 mikrometre aralık olan iki fotodedektöre ulaşması ile başlar. Daha sonra her bir yaprak sıralı olarak sisteme doğru hareket eder ve birincil dedektördeki ışığı kestiği noktada durur ve bu noktayı referans noktası alır. Bu işlemi her yaprak için tekrarlar.

Yaprakları hareket ettiren motorların çalışması için gerekli güç aralığı ise 13-14V 'dur (13).



Şekil 2.2.1. Çok yapraklı kolimatör.



Şekil 2.2.2 Çok yapraklı kolimatör mekanik ve elektronik yapısı.

2.3. Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Planlama

YART' de planlama basamakları şu şekildedir:

- Risk altındaki organların (OAR) kontrol edilmesi ve planlanan hedef hacimlerin (PTV) YART protokolüne göre oluşturulması.
- Reçetelendirilen dozun ve fraksiyon sayısının sisteme girilmesi.
- Optimizasyon kısmında; Hedef ve kritik organların hacim ve doz ilişkisinin belirlenmesi ve doz kriterlerinin önem derecelerinin atanması.
- Optimizasyon işleminin başlatılması ve uygun doz hacim eğrilerine ulaşıldığında durdurulması.
- Yaprak hareketlerinin hesaplanması.
- Doz hesaplanmasının yapılması.
- Doz hacim histogramında hedef ve risk altındaki organların değerlendirilmesi.
- Planın dozimetrik kalite kontrolünün gerçekleştirilmesi (10).

2.3.1. YART' de İleri Planlama

YART İleri planlamada yoğunluk kullanıcı tarafından ek alan içinde alanlar açılarak ve alan ağırlıklarıyla oynanarak elde edilir. Alan içinde alanlar yardımıyla kritik yapılarda görelî koruma sağlanır.

2.3.2. YART' de Ters Planlama

Ters planlama yoğunluğu ayarlama algoritmalardan faydalanır. Kullanıcı istediği sonucu sisteme girer ve bilgisayar sistemi de atanmış çözüm aralığında istenilen sonuç için gerekli hesaplamaları yapar. Elde edilen sonuç doğrultusunda demet akıları oluşturulur ve bu akıları oluşturacak mekanik hesaplamalara geçilir. Bu hesaplamalar lif hareketlerin içerir. Ters planlama yapılırken dikkat edilecek noktalardan birisi sistemden gerçekçi isteklerde bulunmaktır, aksi durumda sistem istenilen doz dağılımını gerçekleştirecek sistemsel sonuca ulaşamaz ve hatalar oluşur.

2.4. YART Teknikleri

Optimal demet akıları oluşturulduktan sonra gerçekte akılara geçilirken iki teknik kullanılabilir. Bunlar statik ve dinamik YART teknikleridir ve bu tekniklerde ÇYK hareketleri belirlenir.

2.4.1. Statik ÇYK Tekniği

Bu teknikte çok sayıda alt alanla hata tedavisi sağlanırken gantry ve ÇYK'ler hareketsiz haldedir. Bu teknikte ışınlama sırasında *gantry* ve ÇYK'ler hareketsizdir. Her bir alt alan ışındandıktan sonra radyasyon kesilir ve diğer alt alana geçilir. Alt alanlar oluşturulurken ışınlama yapılmaz. Tüm alt alanların toplamı planlama sistemi tarafından belirlenen toplam akıya ulaşıncaya tanımlanan açıda tedavi sonlanır (11).

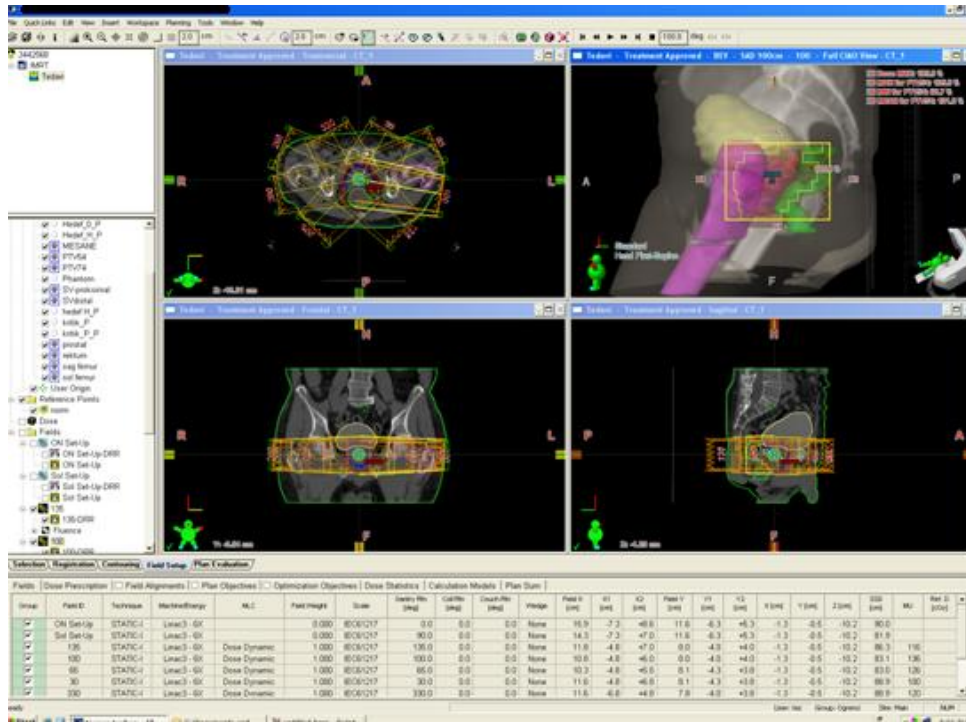
2.4.2. Dinamik ÇYK Tekniği

Bu teknikte ışınlama sırasında gantry sabit kalırken doz modülasyonu ise ışınlama sırasında hareket eden ÇYK'ler ile sağlanır. Işınlama alt alanlara bölünmezken tedavi süresi azalır. Avantajları: hasta immobilizasyon süresi kısa olduğundan ışınlanan bölgede hareket kaynaklı hata oranı ve sızıntı kaynaklı fazla doz miktarı düşmektedir. Hareketli liflerin hareketsiz liflere göre daha farklı kalite kontrolleri olması da bu tekniğin doğal bir sonucudur. Gerek lif uyumları gerekse pozisyon doğrulukları hakkında testler yapılmalıdır (6).

2.5. Varian Eclipse Tedavi Planlama Sistemi

Varian Eclipse 8.6, Varian marka lineer hızlandırıcı cihazının standart tedavi planlama sistemidir (TPS) Eclipse TPS elektron ve foton demet planlamalarında ve brakiterapi planlamalarında kullanılmaktadır. BT, MRG ve

pozitron emisyon tomografisi (PET) gibi görüntüleme yöntemlerini kullanarak hastanın üç boyutlu modellemesini yapabilir. Network sistemi olarak ARIA sistemini kullanmakta DICOM RT uyumu sayesinde bilgi alışverişi yapabilmektedir. YART uygulamaları ileri ve ters planlamalar yapılarak elde edilebilmektedir. Tedavi planları kalite kontrolünün temini için fantomlar üzerine taşınabilmektedir (15) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Varian Eclipse tedavi planlama sistemi.

2.6. İplan tedavi planlama sistemi.

İplan 4.1, Brainlab Novalis marka lineer hızlandırıcı cihazının standart tedavi planlama sistemidir.

İplan TPS foton demet planlamalarında planlamalarında kullanılmaktadır. BT, MRG ve pozitron emisyon tomografisi (PET) gibi görüntüleme yöntemlerini kullanarak hastanın üç boyutlu modellemesini yapabilir. Network sistemi olarak ARIA sistemini kullanmakta DICOM RT uyumu sayesinde bilgi alışverişi yapabilmektedir. YART uygulamaları ileri ve

ters planlamalar yapılarak elde edilebilmektedir. Tedavi planları kalite kontrolünün temini için fantomlar üzerine taşınabilmektedir(16) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. İplan planlama sistemi.

2.7. Dynalog Dosyaları

Dynalog dosyası içinde gerçek fraksiyon doz bilgilerini, gerçek ÇYK pozisyon bilgilerini saklayan bir sistemdir. Bu dosyalama sistemi cihazdan alınan dataları tedavi süresince her 50 ms de bir kaydeder. Dynalog dosyalarını incelemek için DynaLog File Viewer (DVF) adlı programa ihtiyaç duyulmaktadır.

Dynalog dosyasından elde edilebilecek bilgiler şöyledir:

-Hata Histogramı: ÇYK pozisyonundaki sapmaları gösterir. 0,005 cm den küçük sapmalar için sıfır sapma tanımı yapılmışken 1cm den büyük sapmalar için maksimumum üstünde tanımı kullanılmıştır (12).

-Root Mean Square (RMS): lif sapmaları için tanımlanan bir fonksiyondur. Planlanan yaprak pozisyonu ve gerçekte olan yaprak pozisyonlarının arasındaki farkların toplamıdır

Her bir lif için sapmalar Bağıntı 1'deki gibi hesaplanır:

$$\text{yaprak hata RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\text{planlananyaprakpozisyonu}_t - \text{gerçekyaprakpozisyonu}_t)^2}{n}}$$

Bağıntı 1

2.8. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın istatistiksel analizinde Wilcoxon testi kullanılmıştır. İki ordinal veya normal dağılım göstermeyen sayısal değişken aynı ölçümün aynı deneklerinden elde edildiği değerleri içeriyorsa iki değişkenin değerleri arasındaki farkların meydanlarını karşılaştırmak için kullanılır. Wilcoxon testi parametrik olmayan bir test olduğundan değerlerin dağılımının normal olması varsayımını gerektirmez ve veriler iki bağımlı örnekten gelebilir (21).

Tüm istatistiksel testler SPSS 18.0(SPSS Inc.,Chicago) programı yardımıyla yapılmıştır. Tüm testler çift yönlü olup, p değeri ≤ 0.05 anlamlı olarak kabul edilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araç ve Gereçler

Bu çalışmada kullanılan araç ve gereçler aşağıda belirtilmiştir.

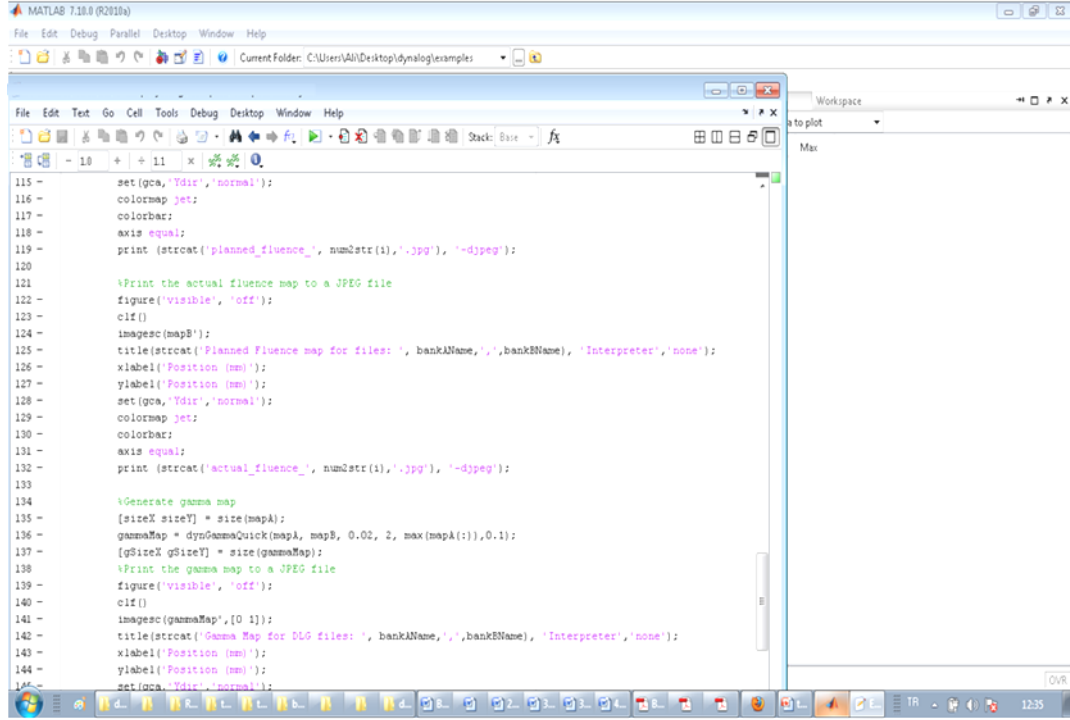
1. Varian Clinac DHX lineer hızlandırıcı.
2. Brainlab Novalis lineer hızlandırıcı.
3. Varian Eclipse tedavi planlama sistemi.
4. İplan tedavi planlama sistemi.
5. Dijital Kamera.
6. Matlab Programı
7. Dynalog dosya görüntüleyici (dynalog file viewer)
8. Spss 18. Programı.

3.1.5. Dijital Kamera

Çalışmada kullanılan dijital kamera Panasonic Lumix (Xaimen China) marka olup, 0.033 saniyede bir görüntü alma kapasitesine ve eşdeğer odak uzunluğu 35 milimetre olan maksimum 3648x2736 piksel çözünürlüğe sahiptir.

3.1.6. Matlab Programı

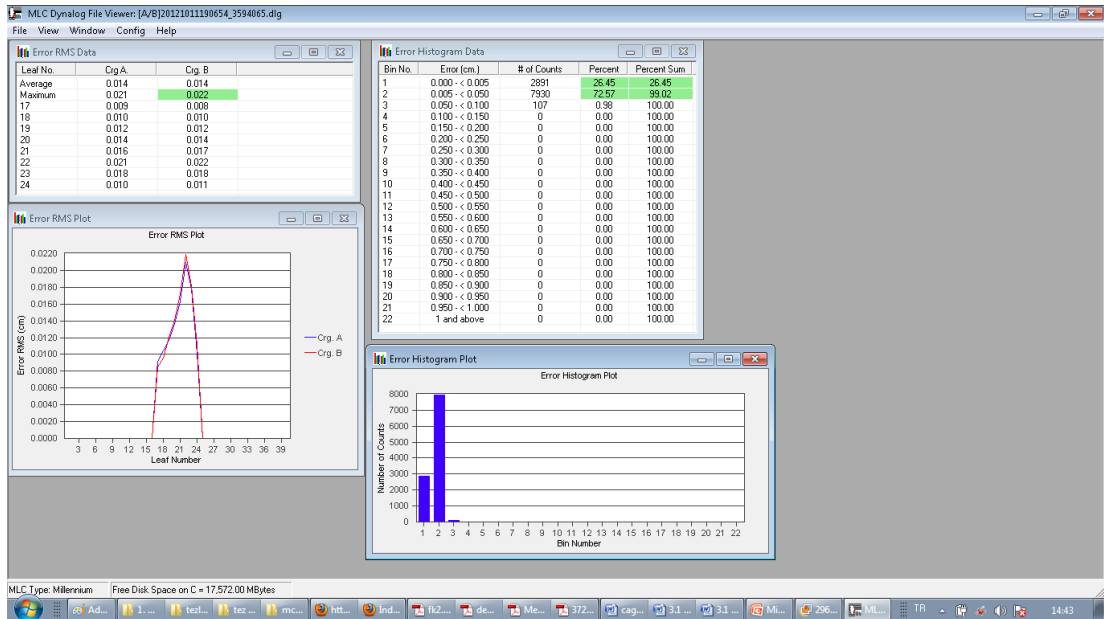
Çalışmada dijital kameradan elde edilen ÇYK görüntülerini analiz için Matlab 7.10 (MathWorks Inc. USA) yazılımı kullanılmıştır. Matlab kullanıcısına algoritma oluşturma seçeneği ve hazır fonksiyonlarıyla birçok matematiksel işlemi sunan yüksek seviye bir programlama dilidir. Verilerin işlenmesinde ve analizinde kolaylık sağladığı için seçilen bu program aynı zamanda işlem süresini de kısaltmıştır. Yazılan kod yardımıyla, dijital kamera sayesinde elde edilen görüntüler üzerinden her bir yaprağın hız bilgileri hesaplanmıştır (Şekil 3.1.6).



Şekil 3.1.6. Matlab programı.

3.1.7 Dynalog Dosya Görüntüleyici

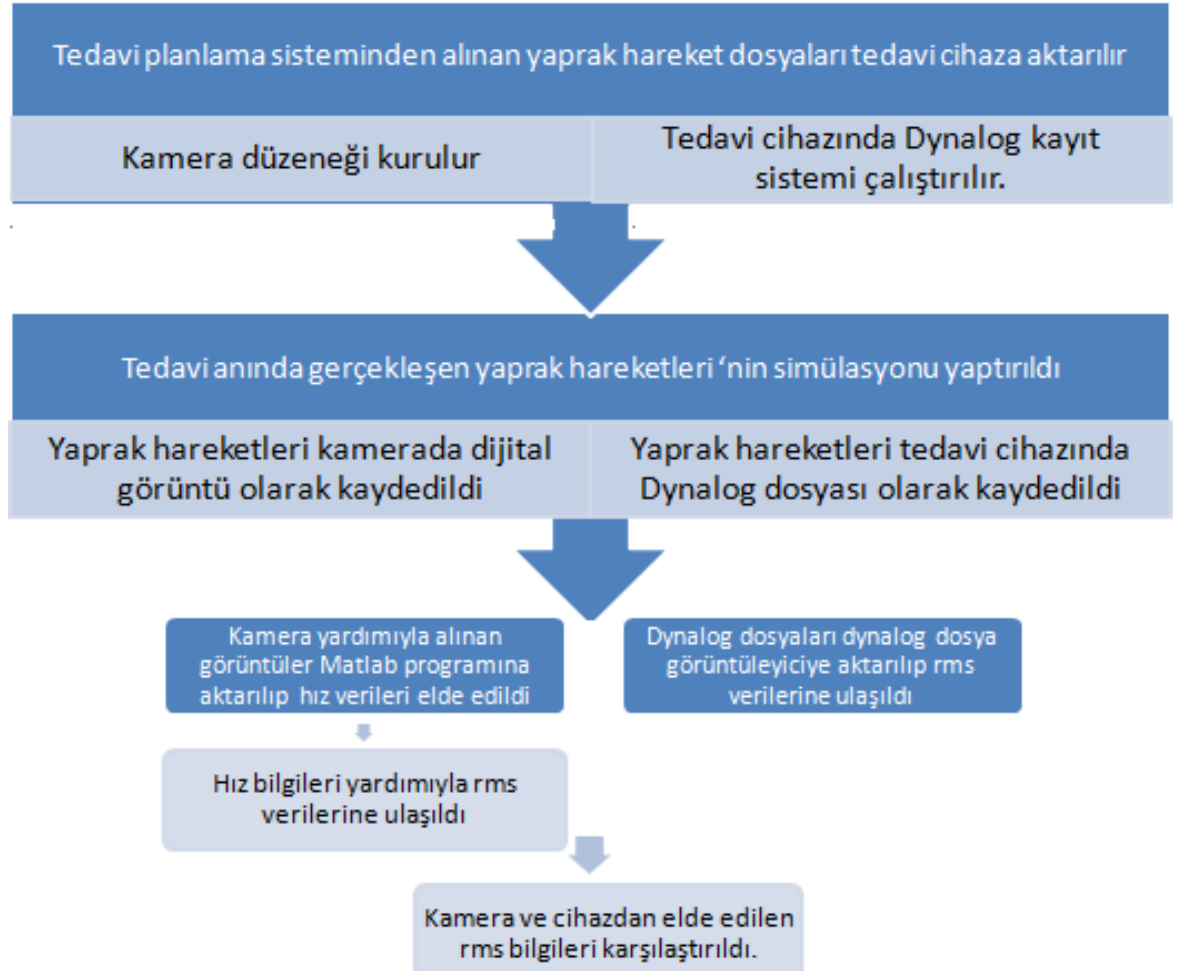
Dynalog dosyalarını işlemek için kullanılan bu program, ölçümler sırasında alınan verilerin işlenmesinde ve incelenmesinde kullanılmıştır (Şekil 3.1.7).



Şekil 3.1.7. Dynalog dosya görüntüleyici.

3.2. Yöntem

Çalışmada yapılanlar akış şemasında anlatılmıştır (Şekil 3.2.1).



Şekil 3.2.1. Yönteme ait akış şeması.

Bu çalışmada ÇYK'lerin hızları, saniyede 30 görüntü alabilen, çözünürlüğü yüksek dijital kamera yardımıyla elde edilen veriler MATLAB yazılımında analiz edilmiştir. Yaprak hızlarının set edilmiş değerlerle olan farklılıkları saptanmaya çalışılmış olup ve bu farklılıkların tedavi planlarına olan etkisi incelenmiştir.

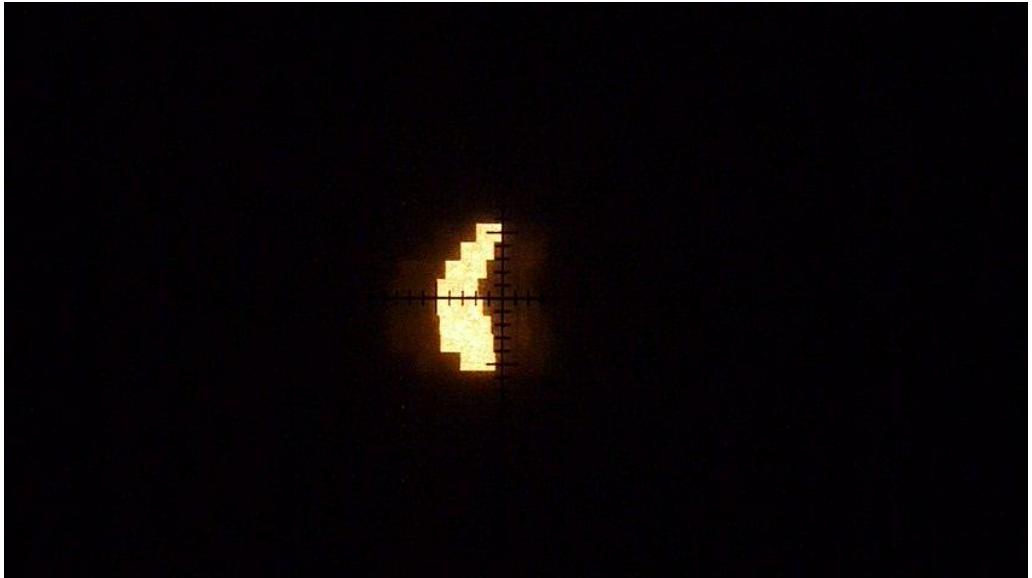
Çalışma temelde bir kalite güvenilirlik testi olduğundan kliniğimizde tedavisi tamamlanmış rastgele seçilen bir prostat hastasının planları Eclipse

planlama sistemi ve İplan planlama sistemlerine aktarılmış ve gerekli plan hesapları tekrarlanmıştır.

Kalite güvenilirliğinin temini adına çalışmada planlar 0° , 90° , 270° gantry açılarında elde edilmiştir. Ölçümlerden önce lineer hızlandırıcı cihazının mekanik kontrolleri yapılmıştır ve bu sayede cihazımızın herhangi bir hataya neden olmaksızın çalıştığından emin olduk. Mekanik kontroller kapsamında, izomerkezin gantri dönüşü, kolimatör dönüşü ve lazerlerle uyumuna bakılmıştır. Gantri ve kolimatör dönüşü göstergelerinin mekanik ve sayısal olarak uyumluluğuna bakılmıştır. Kolimatör alan büyüklüğünün doğruluğu ve ÇYK konum doğruluğu kontrol edilmiştir.

İşlem basamakları aşağıdaki şekildedir:

-Varian marka lineer hızlandırıcıda 0° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.2) (Şekil 3.2.3).

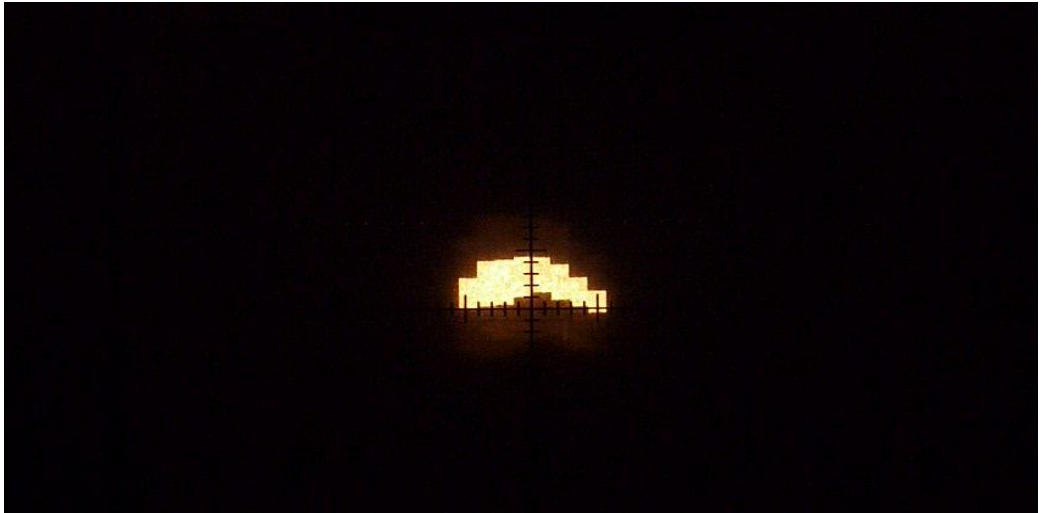


Şekil 3.2.2. 0° açıda alınan görüntü örneği.



Şekil 3.2.3. 0° açıda ölçüm düzeneği.

-Varian marka lineer hızlandırıcıda 90° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.4) (Şekil 3.2.5).

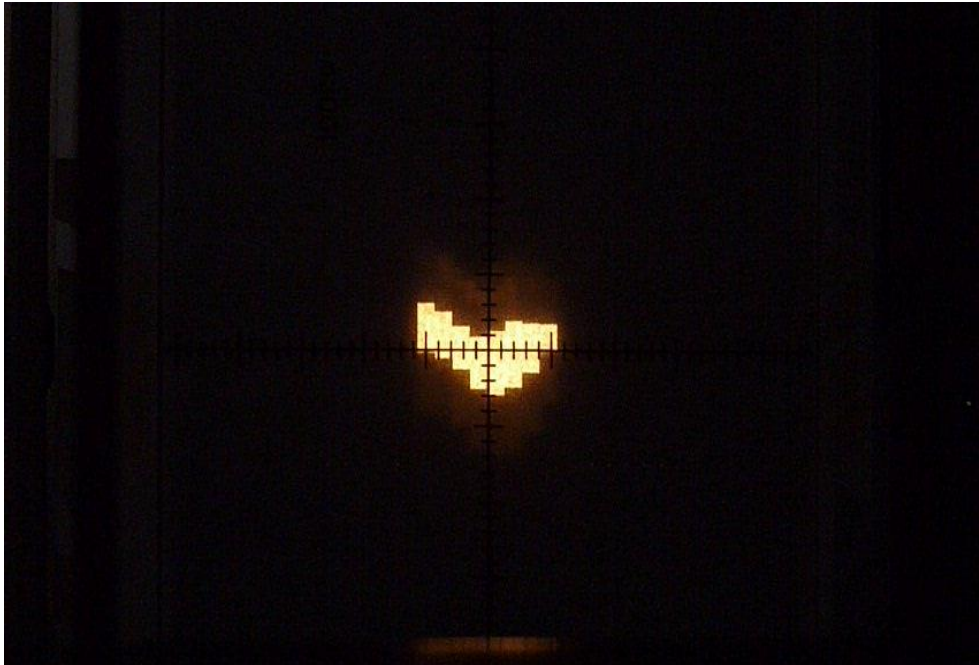


Şekil 3.2.4. 90° açıda alınan görüntü örneği.



Şekil 3.2.5. 90° açıda ölçüm düzeneği.

-Varian marka lineer hızlandırıcıda 270° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.6) (Şekil 3.2.7).

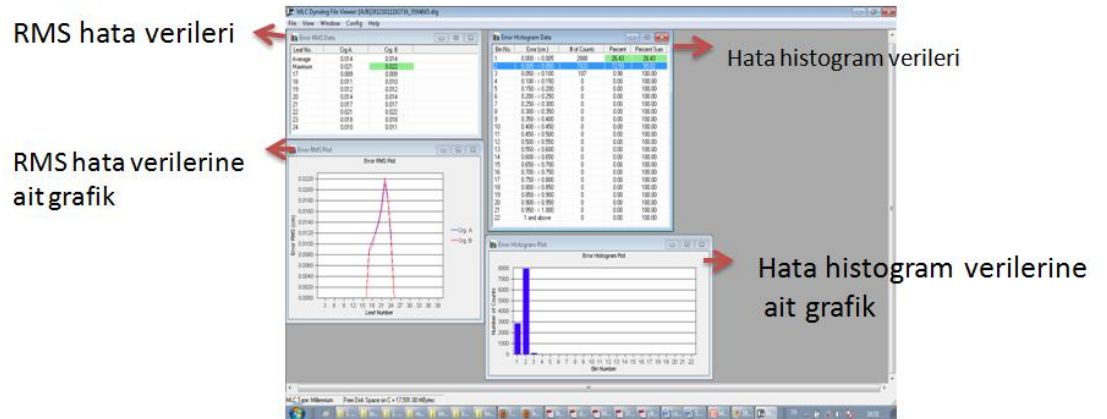


Şekil 3.2.6. 270° açıda alınan görüntü örneği.

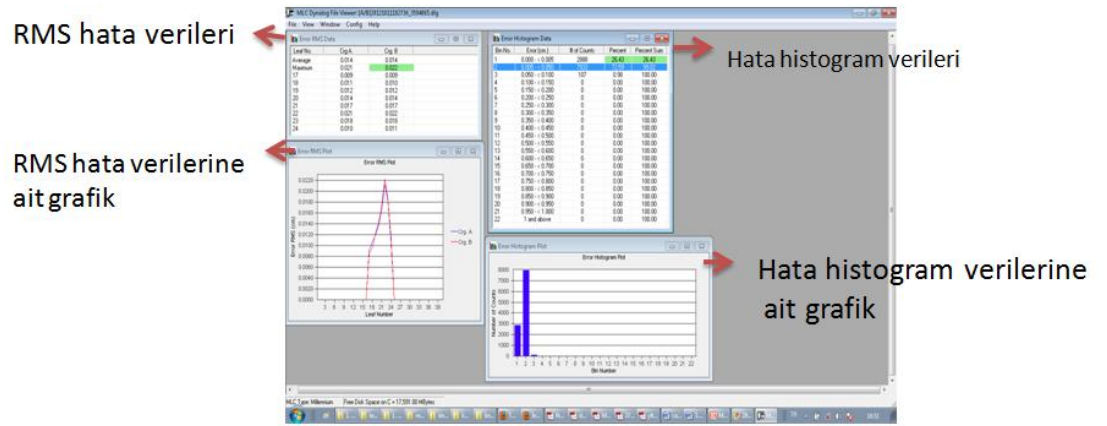


Şekil 3.2.7. 270° açıda ölçüm düzeneği.

Ardından Varian marka lineer hızlandırıcıda 0° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınıp, Dynalog dosya görüntüleyici programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.8) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 ayrı set veri alınmıştır (Şekil 3.2.9). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.

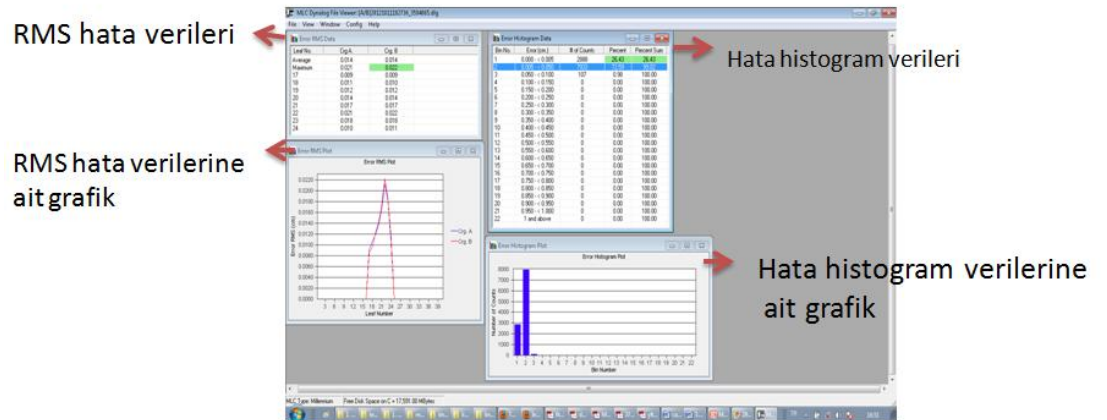


Şekil 3.2.8. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

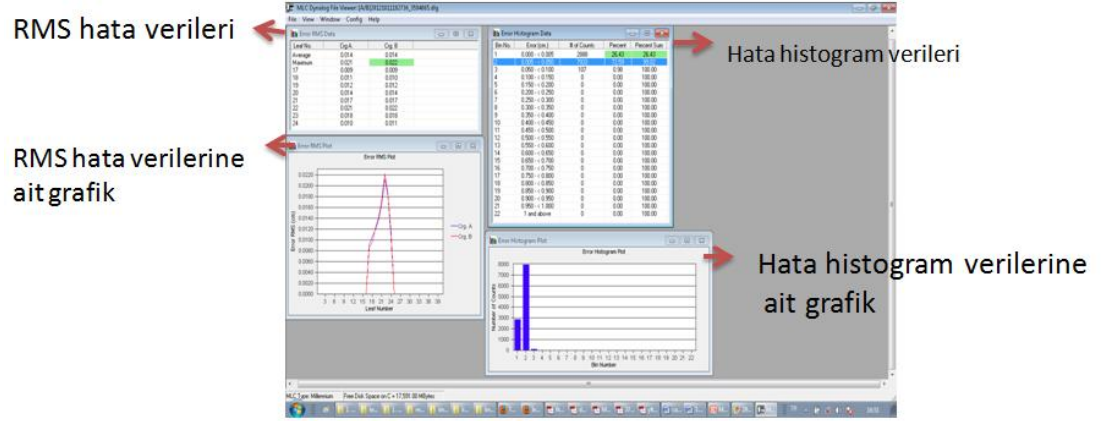


Şekil 3.2.9. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Varian marka lineer hızlandırıcıda 90° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınıp, Dynalog dosya görüntüleyici programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.10) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 ayrı set veri alınmıştır (Şekil 3.2.11). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.

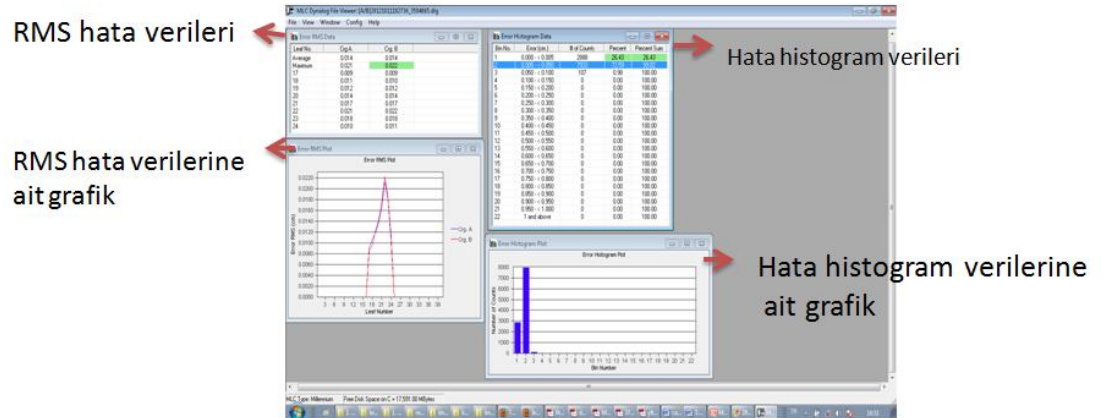


Şekil 3.2.10. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

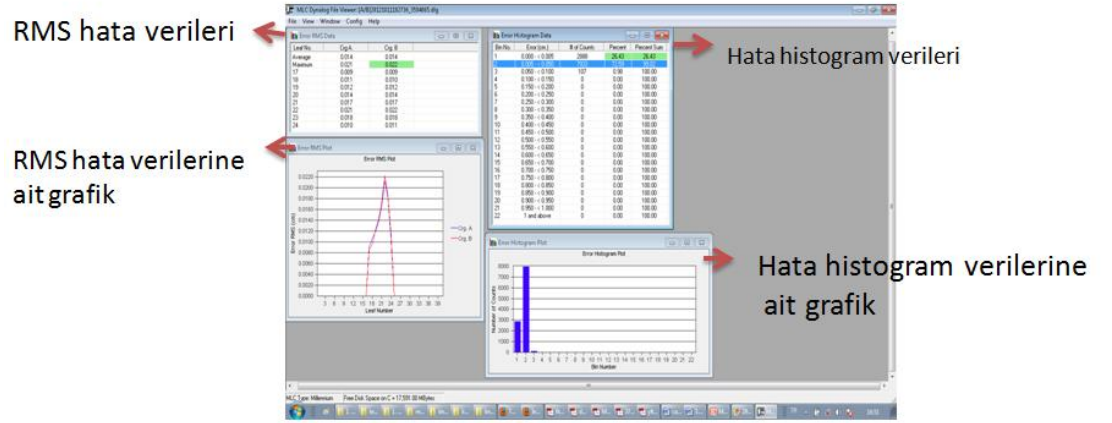


Şekil 3.2.11. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Varian marka lineer hızlandırıcıda 270° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınıp, Dynalog dosya görüntüleyici programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.12) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 ayrı set veri alınmıştır (Şekil 3.2.13). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.



Şekil 3.2.12. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.



Şekil 3.2.13. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Novalis marka lineer hızlandırıcıda 0° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.14). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.



Şekil 3.2.14. 0 derece açıda alınan görüntü örneği.

Novalis marka lineer hızlandırıcıda 90° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda

planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.15).



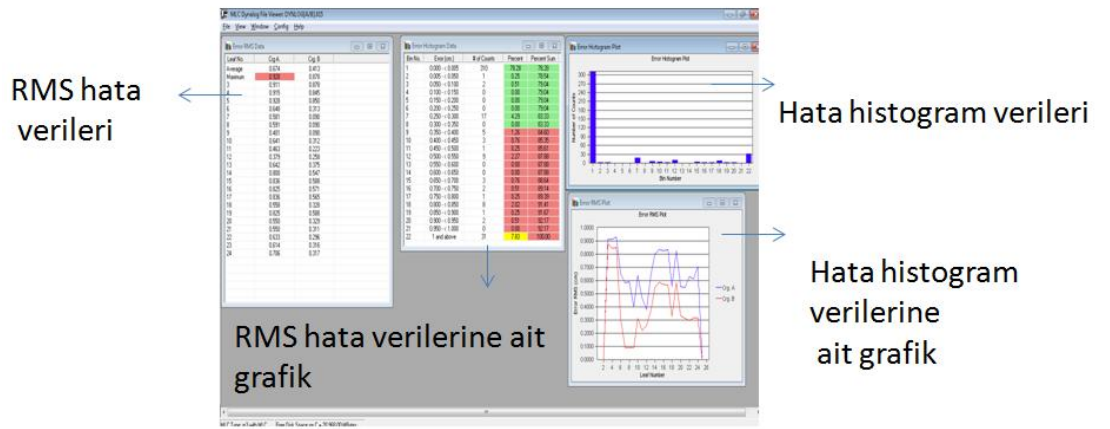
Şekil 3.2.15. 90 derece açıda alınan görüntü örneği.

-Novalis marka lineer hızlandırıcıda 270° gantry açısında dijital kamera kaynak yüzey mesafesi 100 cm olacak şekilde ayarlanıp, belirtilen açıda planlanan ÇYK hareketi planın uygulama süresince kaydedilmiştir (Şekil 3.2.16).

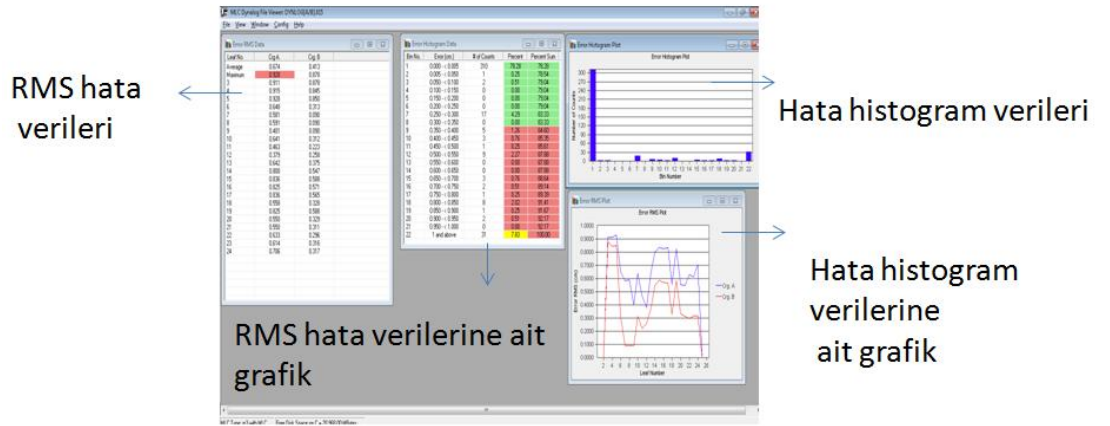


Şekil 3.2.16. 270 derece açıda alınan görüntü örneği

Novalis marka lineer hızlandırıcıda 0° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınmıştır. Dynalog dosya görüntüleyici programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.17) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 set veri alındı (Şekil 3.2.18). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.



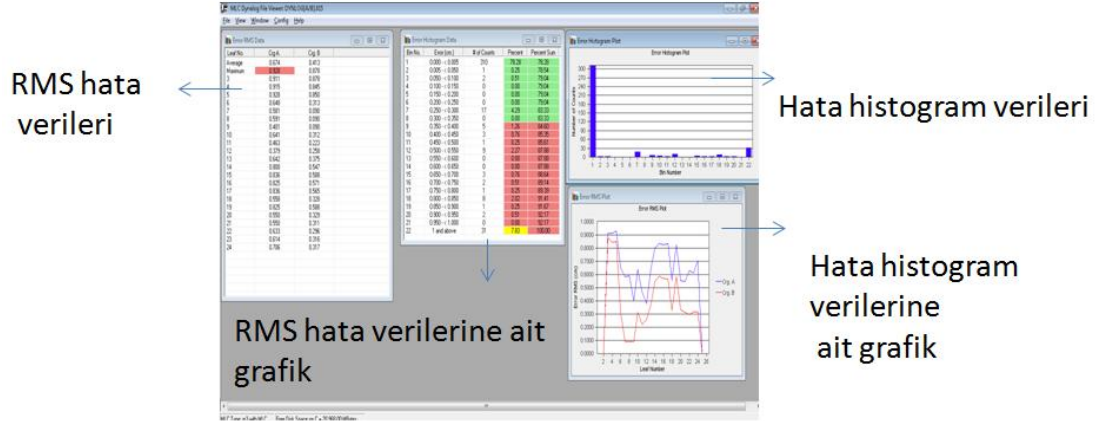
Şekil 3.2.17. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.



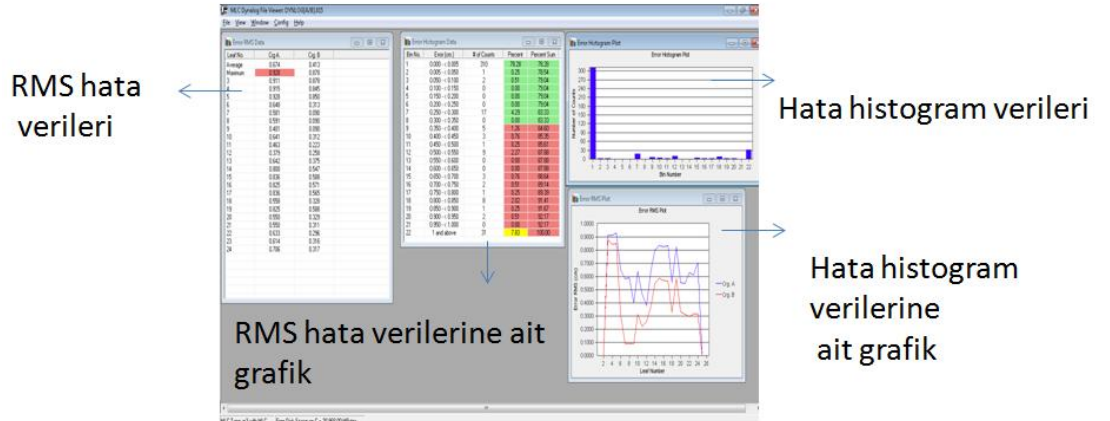
Şekil 3.2.18. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Novalis marka lineer hızlandırıcıda 90° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınmıştır. Dynalog dosya görüntüleyici

programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.19) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 set veri alınmıştır (Şekil 3.2.20). Bu bilgiler, RMS hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.



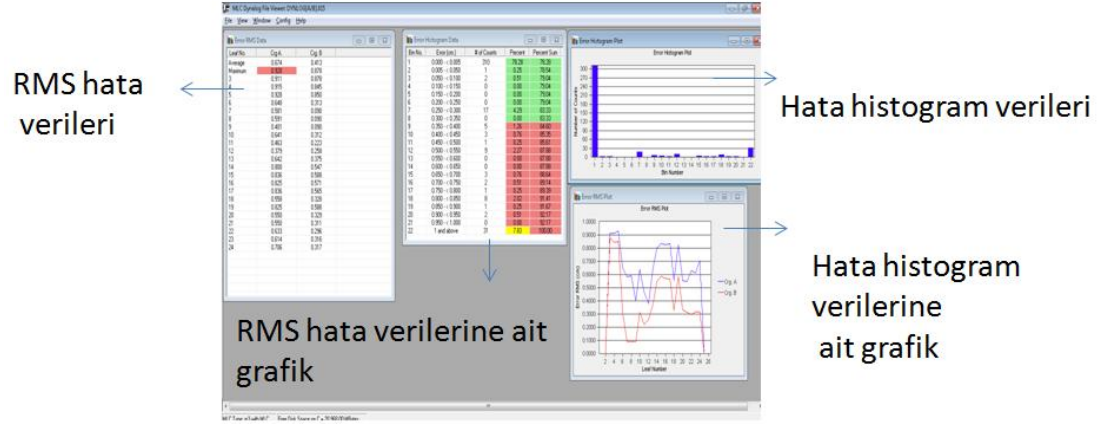
Şekil 3.2.19. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.



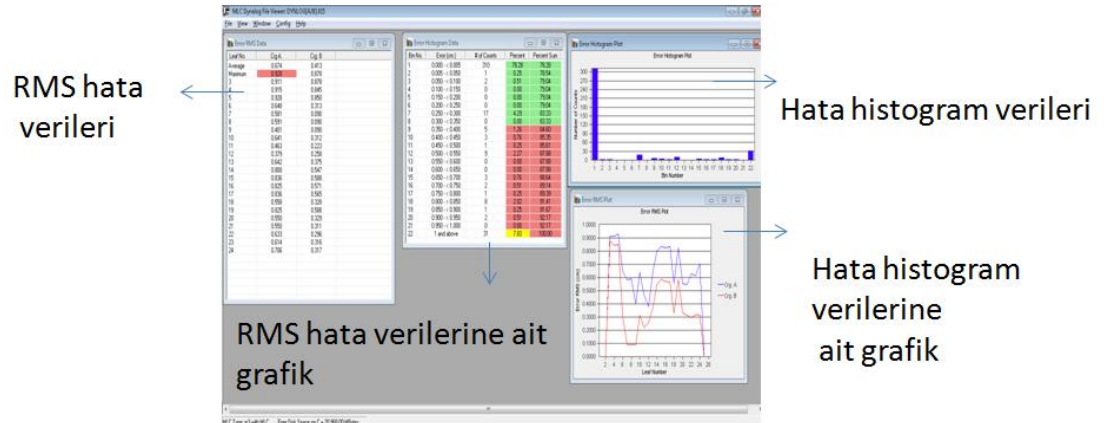
Şekil 3.2.20. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Novalis marka lineer hızlandırıcıda 270° gantry açısında Dynalog dosyasının kaydettiği veriler alınmıştır. Dynalog dosya görüntüleyici programında işleme sokulmuştur. Bu işlemde dosya verileri her yaprak taşıyıcı grup için ayrı kaydedildiğinden A taşıyıcı grup (Şekil 3.2.21) ve B taşıyıcı grup olmak üzere 2 set veri alınmıştır (Şekil 3.2.22). Bu bilgiler, RMS

hatalarını içeren RMS hata verileri ve bu hata histogram verileri ve bunların grafikleridir.



Sekil 3.2.21. A taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.



Sekil 3.2.22. B taşıyıcı grup dynalog bilgileri örneği.

Tüm ölçümler alındıktan sonra dijital kamerayla alınan ölçümler Matlab programında işleme sokularak konum bilgisi ve 0.033 saniyelik farklarla konumsal değişimlere saptanmıştır. Konum ve zaman bilgisi ışığında hız bilgisine Bağıntı 2 ile hesaplanmıştır.

$$v = \frac{dx}{dt} \quad \text{Bağıntı 2}$$

dx= konum

dt= zaman

v=hız

Dynalog dosyaları yardımıyla elde edilen ÇYK bilgileri ile Matlab programı yardımıyla elde ettiğimiz ÇYK bilgileri analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuçlarda yaprakların anlık hız bilgilerinden değişken hızları saptanmıştır.

Her RMS bilgisi SPSS 18.0 programına aktarılarak istatistiksel hesaplamaları yapılmıştır. Wilcoxon testinin uygulandığı tüm parametreler RMS cihaz ve RMS kamera bilgilerine ait verilerdir.

4. BULGULAR

4.1. Varian DHX Lineer Hızlandırıcıdan Elde Edilen Sonuçlar

4.1.1. Dynalog Dosyalarından Elde Edilen Sonuçlar

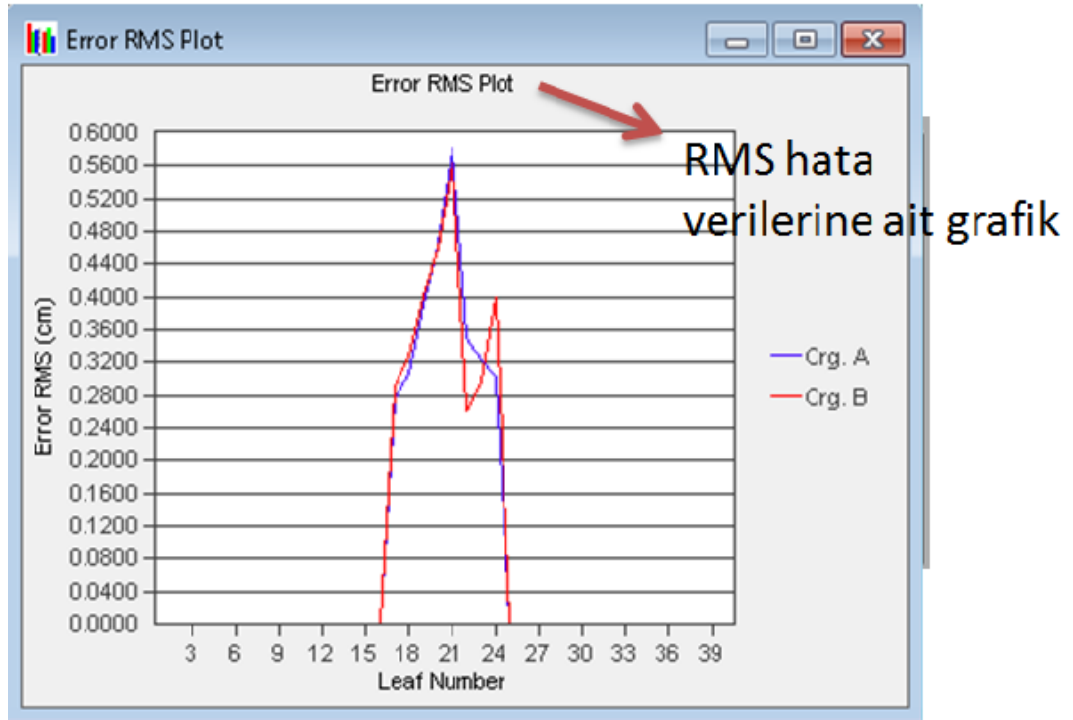
Dynalog dosyalarından, 0° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler şekil 4.1-4.4'de gösterilmiştir. Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında gösterilmiş olup planda kullanılan 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 0.374 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.375 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 0.583 cm ile 21 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 0.564 cm ile 21 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve

sonuçta 23 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 13 sayım da 0.15-0.20 cm aralığında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	0.374	0.375
Maximum	0.583	0.564
17	0.276	0.291
18	0.305	0.329
19	0.391	0.401
20	0.464	0.460
21	0.583	0.564
22	0.350	0.260
23	0.322	0.296
24	0.303	0.400

RMS hata
verileri

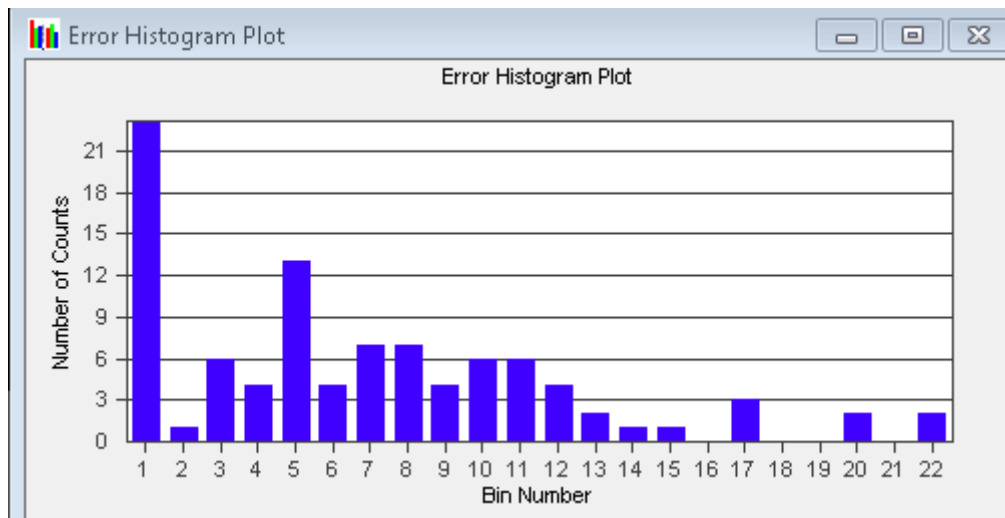
Şekil 4.1. A ve B taşıyıcı gruplarının yaprakları için RMS hata verileri.



Şekil 4.2. A ve B yaprakları için RMS hata verilerine ait grafik.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	23	23.96	23.96
2	0.005 - < 0.050	1	1.04	25.00
3	0.050 - < 0.100	6	6.25	31.25
4	0.100 - < 0.150	4	4.17	35.42
5	0.150 - < 0.200	13	13.54	48.96
6	0.200 - < 0.250	4	4.17	53.13
7	0.250 - < 0.300	7	7.29	60.42
8	0.300 - < 0.350	7	7.29	67.71
9	0.350 - < 0.400	4	4.17	71.88
10	0.400 - < 0.450	6	6.25	78.13
11	0.450 - < 0.500	6	6.25	84.38
12	0.500 - < 0.550	4	4.17	88.54
13	0.550 - < 0.600	2	2.08	90.63
14	0.600 - < 0.650	1	1.04	91.67
15	0.650 - < 0.700	1	1.04	92.71
16	0.700 - < 0.750	0	0.00	92.71
17	0.750 - < 0.800	3	3.13	95.83
18	0.800 - < 0.850	0	0.00	95.83
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	95.83
20	0.900 - < 0.950	2	2.08	97.92
21	0.950 - < 1.000	0	0.00	97.92
22	1 and above	2	2.08	100.00

Şekil 4.3. A ve B yaprağı için hata histogram verileri.



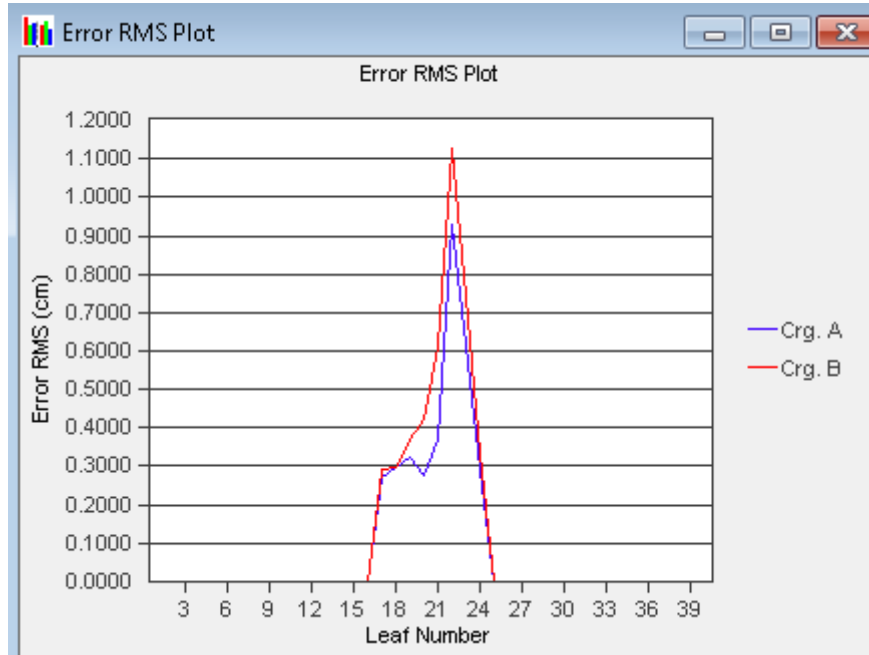
Şekil 4.4. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

Dynalog dosyalarından, 90° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler şekil 4.5-4.8'de gösterilmiştir. Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında

gösterilmiş olup planda kullanılan 17,18,19,20,21,22,23,24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 0.422 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.524 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 0.928 cm ile 22 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 1.127 cm ile 22 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve sonuçta 26 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 9 sayım da 0.10-0.15, 0.35-0.40 cm aralıklarında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	0.422	0.524
Maximum	0.928	1.127
17	0.272	0.292
18	0.300	0.296
19	0.326	0.369
20	0.277	0.421
21	0.368	0.608
22	0.928	1.127
23	0.616	0.743
24	0.291	0.334

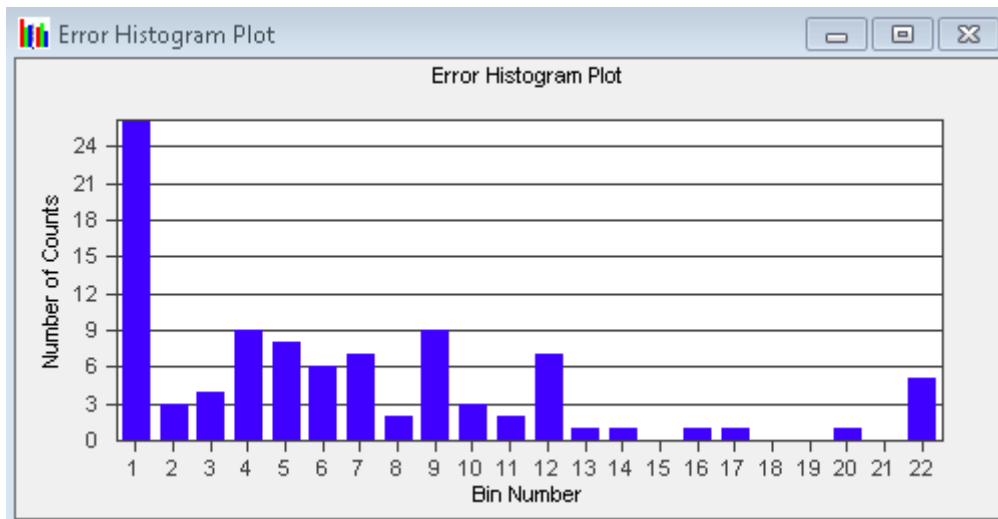
Şekil 4.5. A ve B yaprakları için RMS hata bilgileri.



Şekil 4.6. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	26	27.08	27.08
2	0.005 - < 0.050	3	3.13	30.21
3	0.050 - < 0.100	4	4.17	34.38
4	0.100 - < 0.150	9	9.38	43.75
5	0.150 - < 0.200	8	8.33	52.08
6	0.200 - < 0.250	6	6.25	58.33
7	0.250 - < 0.300	7	7.29	65.63
8	0.300 - < 0.350	2	2.08	67.71
9	0.350 - < 0.400	9	9.38	77.08
10	0.400 - < 0.450	3	3.13	80.21
11	0.450 - < 0.500	2	2.08	82.29
12	0.500 - < 0.550	7	7.29	89.58
13	0.550 - < 0.600	1	1.04	90.63
14	0.600 - < 0.650	1	1.04	91.67
15	0.650 - < 0.700	0	0.00	91.67
16	0.700 - < 0.750	1	1.04	92.71
17	0.750 - < 0.800	1	1.04	93.75
18	0.800 - < 0.850	0	0.00	93.75
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	93.75
20	0.900 - < 0.950	1	1.04	94.79
21	0.950 - < 1.000	0	0.00	94.79
22	1 and above	5	5.21	100.00

Şekil 4.7. A ve B yaprağı için hata histogram bilgileri.

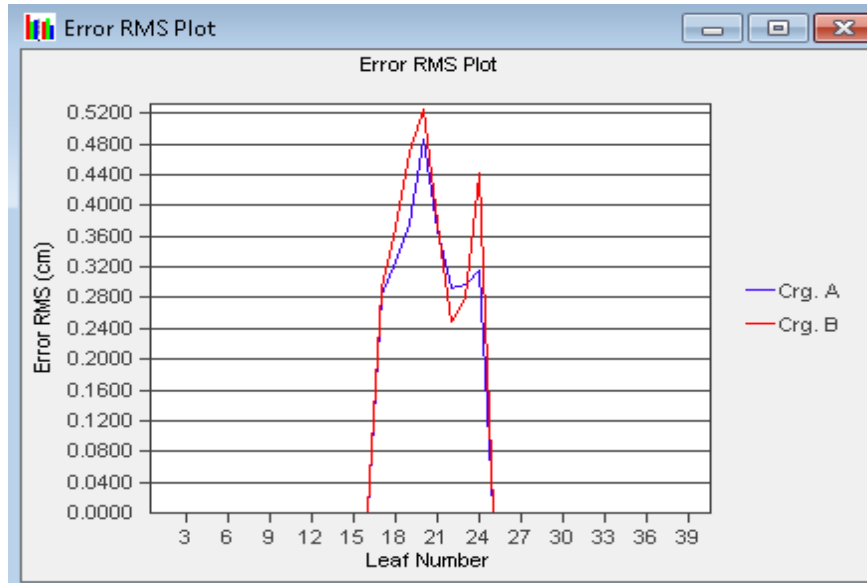


Şekil 4.8. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

Dynalog dosyalarından, 270° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler Şekil 4.9-4.12'de gösterilmiştir. Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında gösterilmiş olup planda kullanılan 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 0.343 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.376 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 0.486 cm ile 20 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 0.526 cm ile 20 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve sonuçta 23 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 10 sayım da 0.10-0.15 cm aralığında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	0.343	0.376
Maximum	0.486	0.526
17	0.283	0.293
18	0.327	0.371
19	0.375	0.470
20	0.486	0.526
21	0.368	0.377
22	0.293	0.250
23	0.297	0.281
24	0.315	0.443

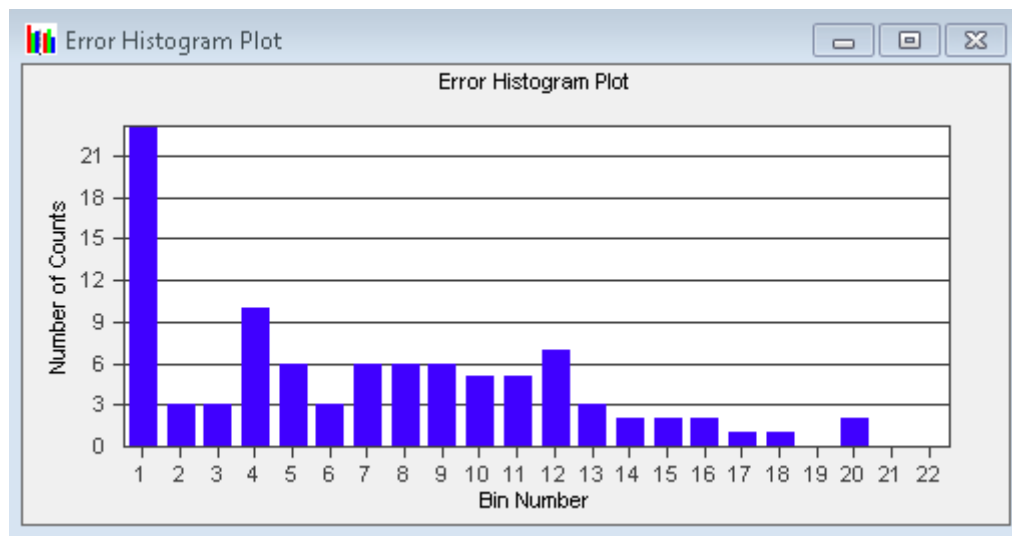
Şekil 4.9. A ve B yaprakları için RMS hata bilgileri.



Şekil 4.10. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	23	23.96	23.96
2	0.005 - < 0.050	3	3.13	27.08
3	0.050 - < 0.100	3	3.13	30.21
4	0.100 - < 0.150	10	10.42	40.63
5	0.150 - < 0.200	6	6.25	46.88
6	0.200 - < 0.250	3	3.13	50.00
7	0.250 - < 0.300	6	6.25	56.25
8	0.300 - < 0.350	6	6.25	62.50
9	0.350 - < 0.400	6	6.25	68.75
10	0.400 - < 0.450	5	5.21	73.96
11	0.450 - < 0.500	5	5.21	79.17
12	0.500 - < 0.550	7	7.29	86.46
13	0.550 - < 0.600	3	3.13	89.58
14	0.600 - < 0.650	2	2.08	91.67
15	0.650 - < 0.700	2	2.08	93.75
16	0.700 - < 0.750	2	2.08	95.83
17	0.750 - < 0.800	1	1.04	96.88
18	0.800 - < 0.850	1	1.04	97.92
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	97.92
20	0.900 - < 0.950	2	2.08	100.00
21	0.950 - < 1.000	0	0.00	100.00
22	1 and above	0	0.00	100.00

Şekil 4.11. A ve B yaprağı için hata histogram bilgileri.

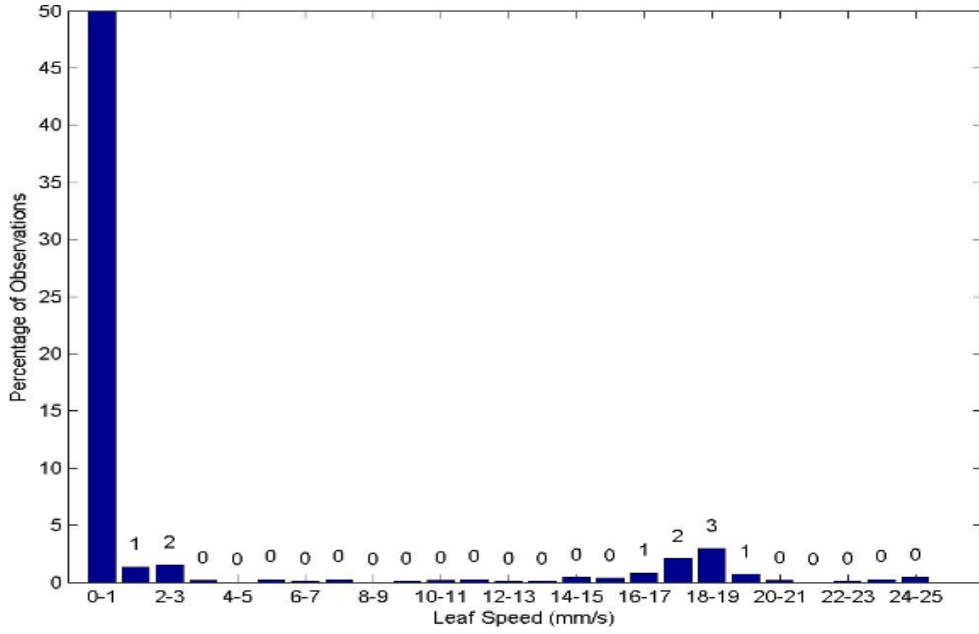


Şekil 4.12. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

4.1.2 Varian marka DHX lineer hızlandırıcıda dijital kamera ile alınan yaprak bilgilerinin MATLAB programıyla analizinden elde edilen sonuçlar.

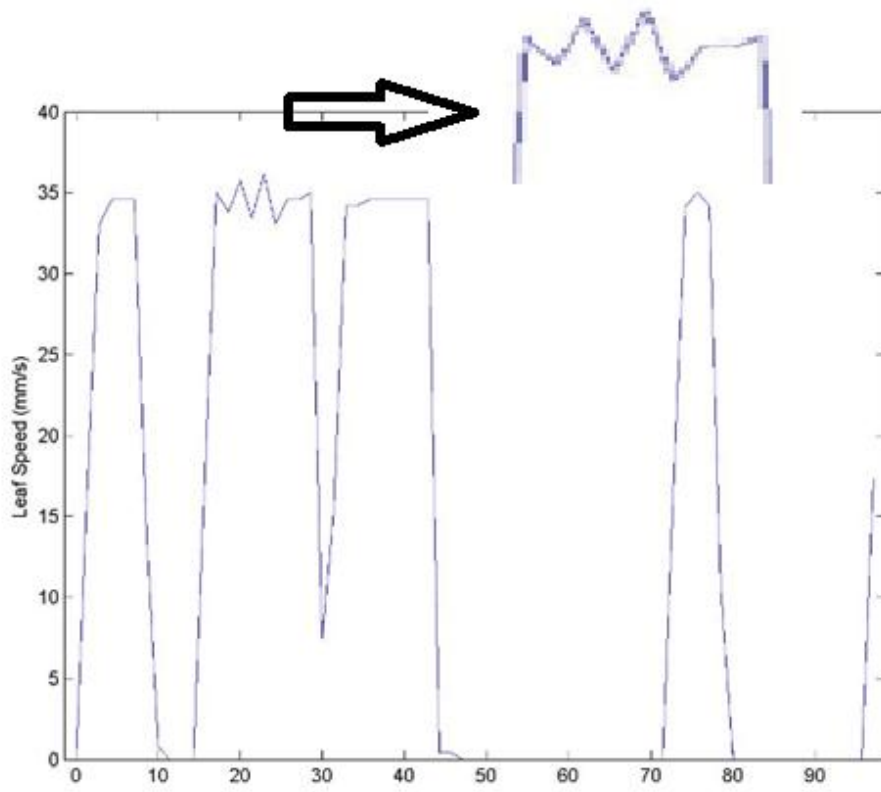
Kamera ile kaydedilen görüntüler Matlab programında işleme sokulduğunda yaprakların hız bilgilerine ulaşılmıştır.

A ve B taşıyıcıları için 0° ölçüm verileri şekil 4.13-4.16'da gösterilmiştir.

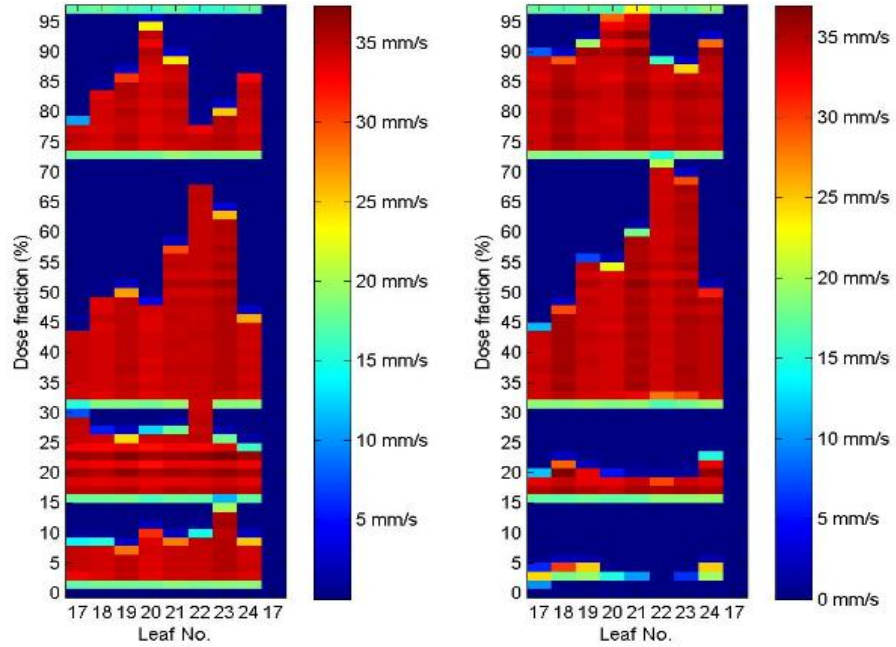


Şekil 4.13. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.

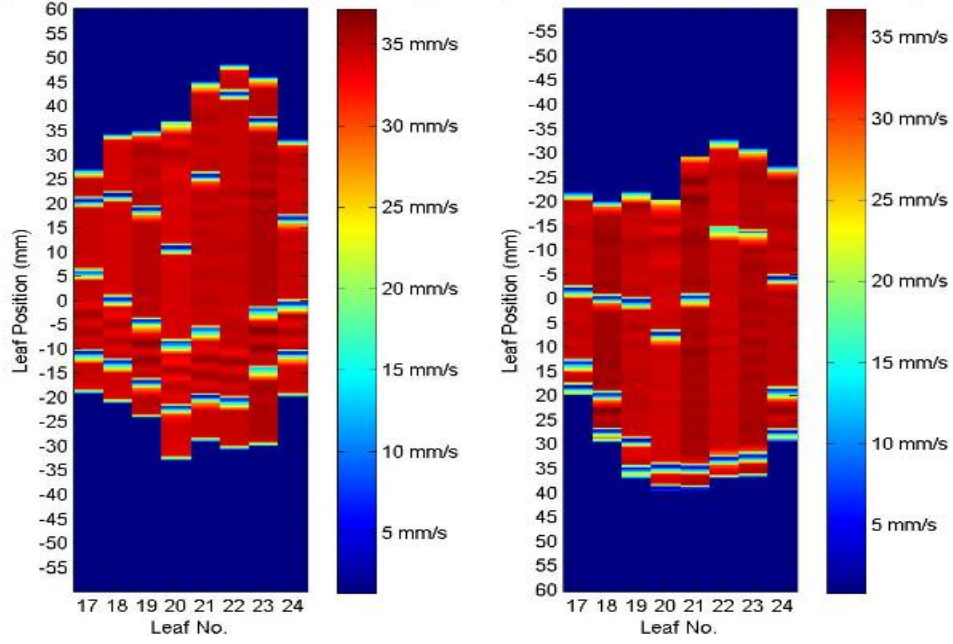
A ve B taşıyıcıları 3.4 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



Şekil 4.14. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.

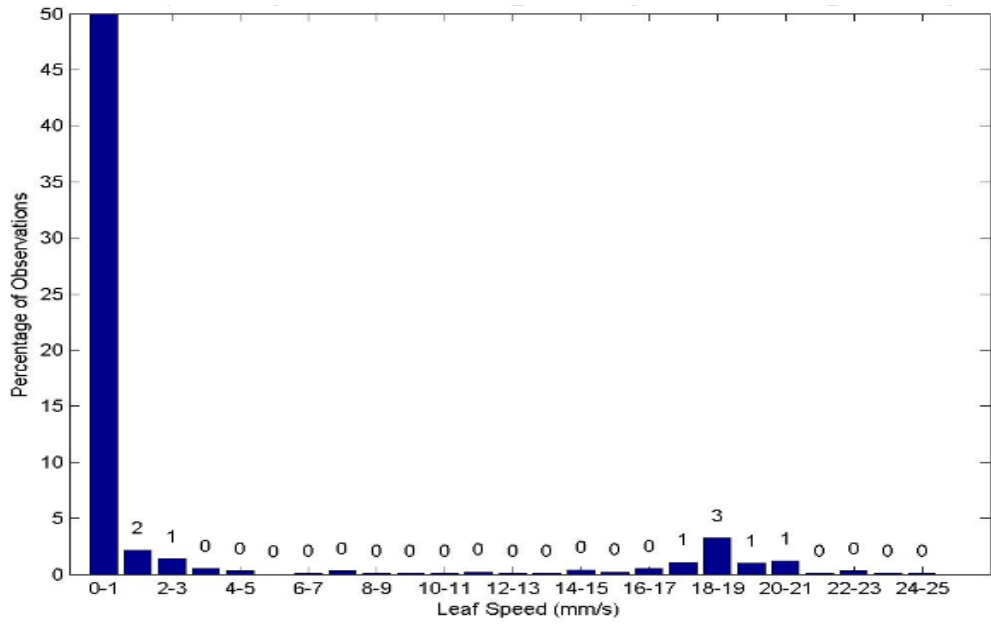


Şekil 4.15. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.

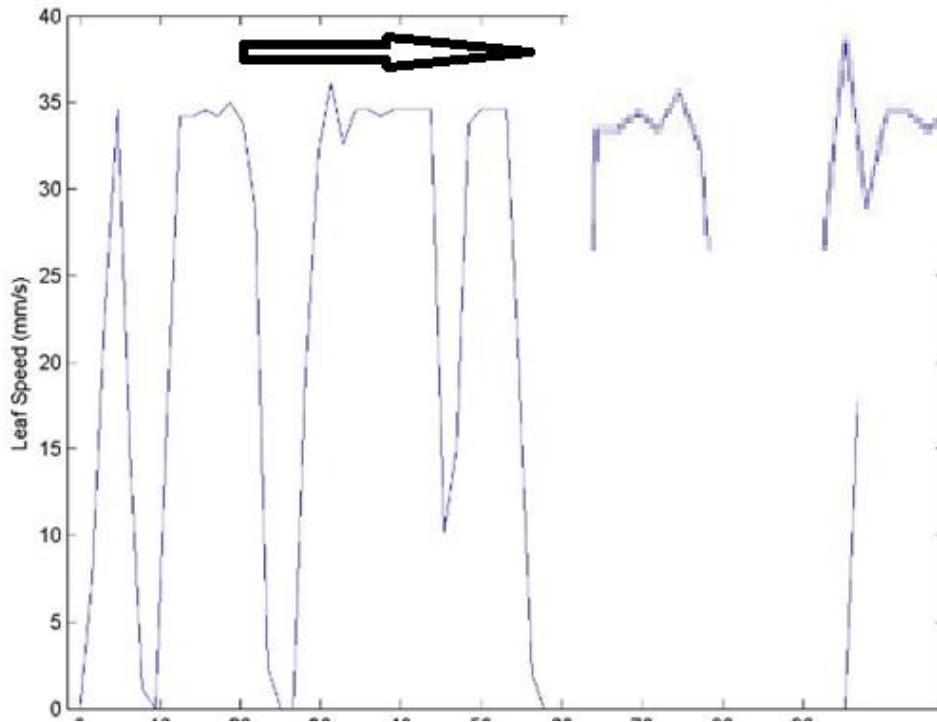


Şekil 4.16. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı

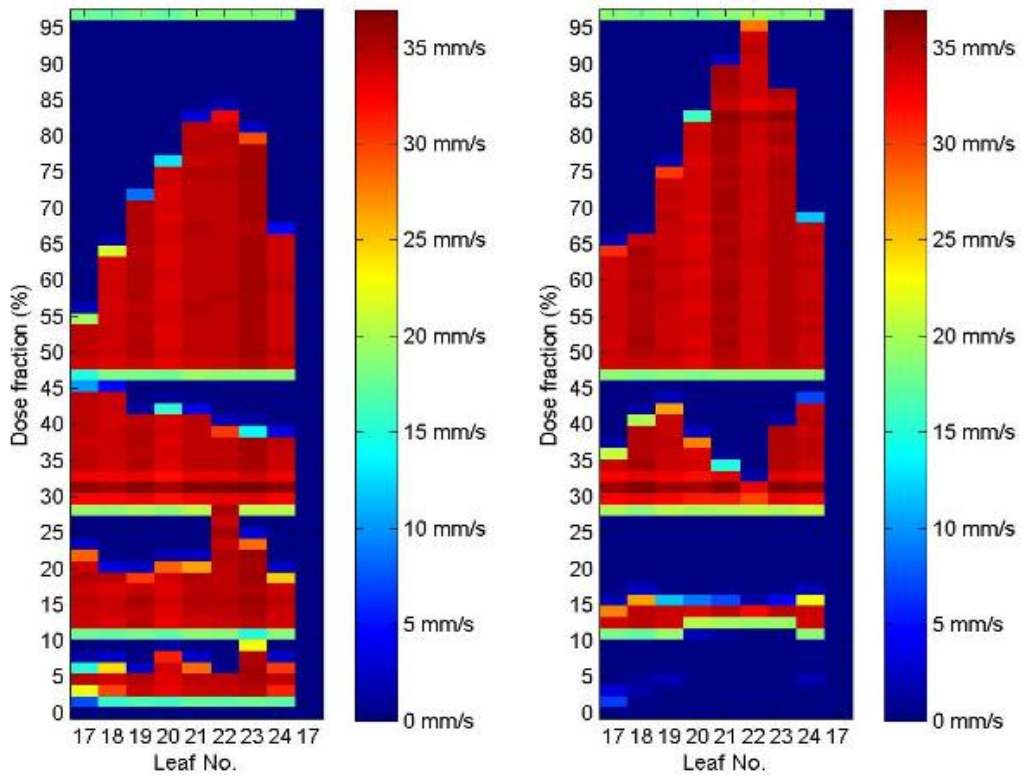
-A ve B taşıyıcıları için 90° ölçüm verileri şekil 4.17-4.20'de gösterilmiştir. A ve B taşıyıcıları 3.5 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



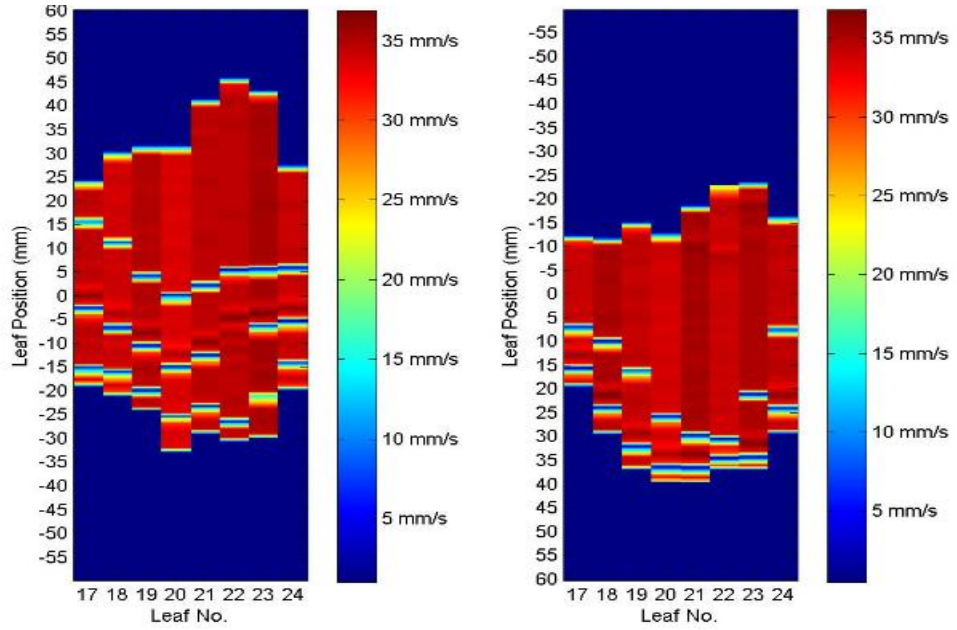
Şekil 4.17. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.



Şekil 4.18. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.

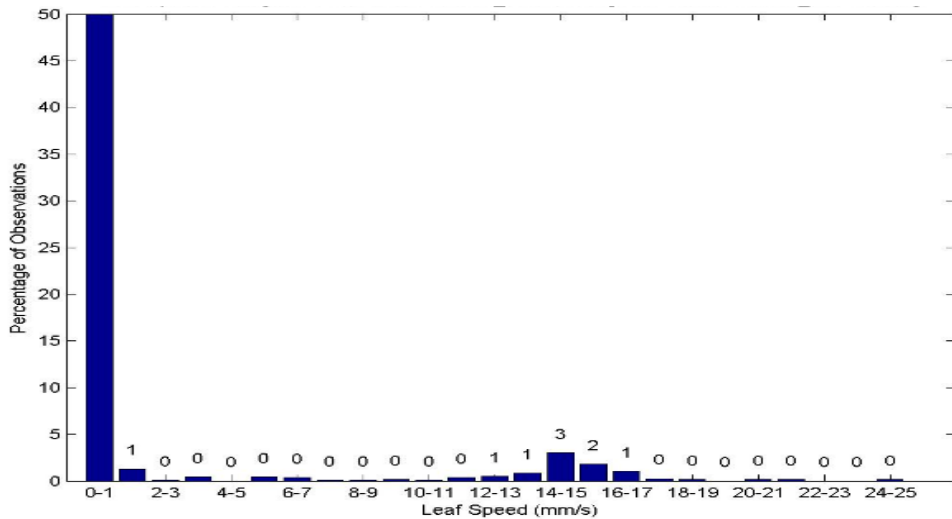


Şekil 4.19. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.

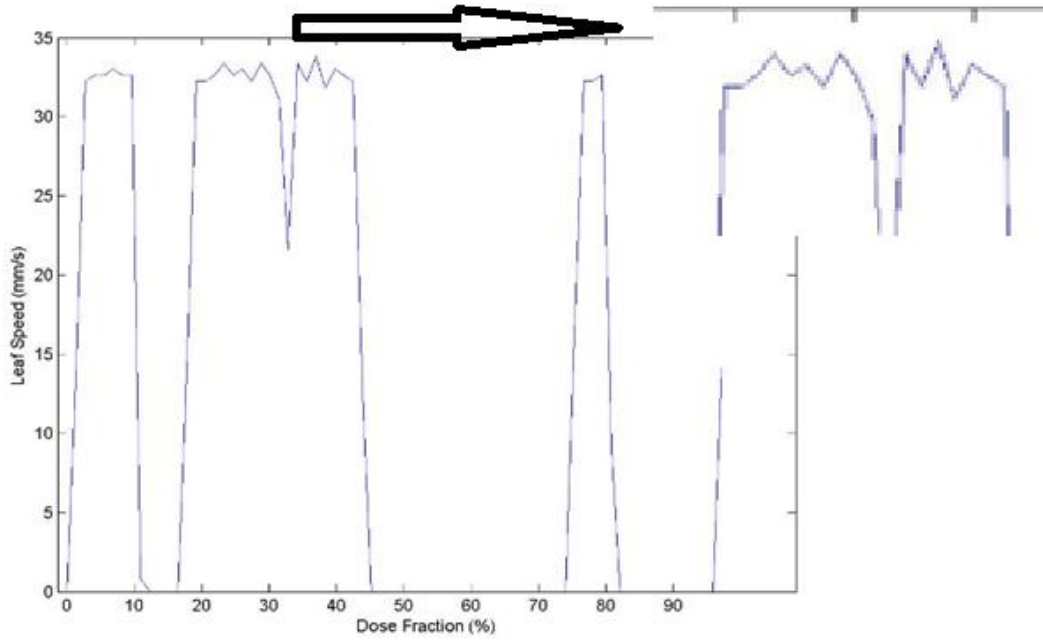


Şekil 4.20. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı

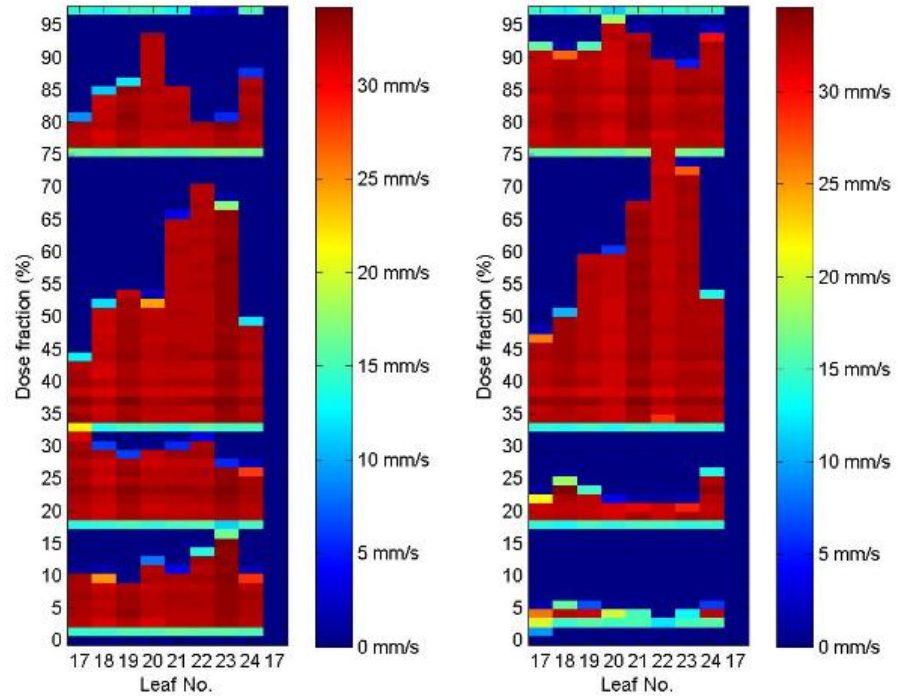
A ve B taşıyıcıları için 270° ölçüm verileri 4.21-4.24'de gösterilmiştir. A ve B taşıyıcıları 3.3 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



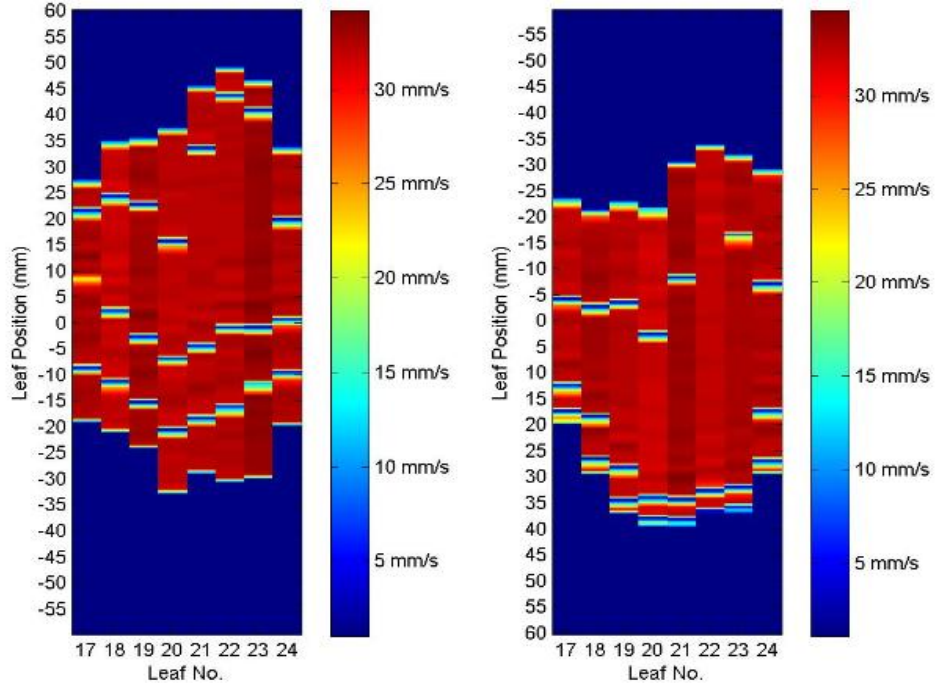
Şekil 4.21. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.



Şekil 4.22. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.



Şekil 4.23. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.



Şekil 4.24. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı

4.1.3. Dijital kamera ölçüm sonuçlarıyla Dynalog dosyalarının sonuçlarının karşılaştırılması:

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 0° için sonuçlar Tablo 4.1'de özetlenmiştir. A taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.374 ± 0.1 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.383 ± 0.1 cm olarak saptanmıştır ($p=0.04$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.375 ± 0.1 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.38 ± 0.09 cm olarak saptanmıştır ($p=0.3$).

Tablo 4.1. 0° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.

Yaprak Numarası	Crg A. (cm)	Crg A kamera (cm)	Crg. B (cm)	Crg B Kamera (cm)
Ortalama	0.374	0.383	0.375	0.38
Maksimum	0.583	0.59	0.564	0.571
17	0.276	0.285	0.291	0.3
18	0.305	0.309	0.329	0.335
19	0.391	0.385	0.401	0.395
20	0.464	0.469	0.46	0.45
21	0.583	0.59	0.564	0.571
22	0.35	0.39	0.26	0.29
23	0.322	0.33	0.296	0.3
24	0.303	0.312	0.4	0.405

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 90° için sonuçlar Tablo 4.2'de özetlenmiştir. A taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.422 ± 0.2 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.436 ± 0.2 cm olarak saptanmıştır ($p=0.3$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.524 ± 0.3 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.531 ± 0.3 cm olarak saptanmıştır ($p=0.2$).

Tablo 4.2. 90° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.

Yaprak Numarası	Crg A. (cm)	Crg A (kamera) (cm)	Crg. B (cm)	Crg B (kamera) (cm)
Ortalama	0.422	0.436	0.524	0.531
Maksimum	0.928	0.955	1.127	1.165
17	0.272	0.285	0.292	0.3
18	0.3	0.365	0.296	0.305
19	0.326	0.315	0.369	0.305
20	0.277	0.209	0.421	0.415
21	0.368	0.375	0.608	0.665
22	0.928	0.955	1.127	1.165
23	0.616	0.69	0.743	0.755
24	0.291	0.3	0.334	0.34

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 270° için sonuçlar Tablo 4.3'de özetlenmiştir. A taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.343 ± 0.07 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.340 ± 0.07 cm olarak saptanmıştır ($p=0.8$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.376 ± 0.1 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.408 ± 0.1 cm olarak saptanmıştır ($p=0.02$).

Tablo 4.3. 270° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları

Yaprak Numarası.	Crg A. (cm)	Crg A (kamera) (cm)	Crg. B (cm)	Crg B(kamera) (cm)
Ortalama	0.343	0.34	0.376	0.408
Maksimum	0.486	0.49	0.526	0.55
17	0.283	0.355	0.293	0.345
18	0.327	0.349	0.371	0.398
19	0.375	0.36	0.47	0.55
20	0.486	0.49	0.526	0.55
21	0.368	0.312	0.377	0.391
22	0.293	0.255	0.25	0.299
23	0.297	0.305	0.281	0.305
24	0.315	0.301	0.443	0.431

4.2. Brainlab Novalis Lineer Hızlandırıcıdan Elde Edilen Sonuçlar

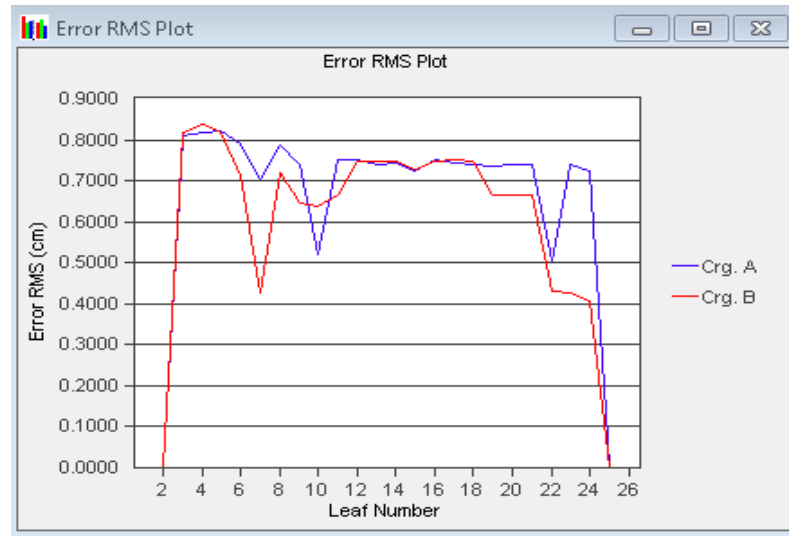
4.2.1. Dynalog Dosyalarından Elde Edilen Sonuçlar

Dynalog dosyalarından, 0° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler şekil 4.25-4.28' de gösterilmiştir.

Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında gösterilmiş olup planda kullanılan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 0.732 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.671 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 0.821 cm ile 5 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 0.839 cm ile 5 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve sonuçta 260 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 12 sayım da 0.30-0.35 cm aralığında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	0.732	0.671
Maximum	0.821	0.839
3	0.811	0.819
4	0.817	0.839
5	0.821	0.819
6	0.789	0.713
7	0.704	0.426
8	0.786	0.719
9	0.740	0.644
10	0.521	0.639
11	0.750	0.666
12	0.750	0.747
13	0.739	0.747
14	0.745	0.748
15	0.724	0.728
16	0.749	0.747
17	0.744	0.750
18	0.738	0.746
19	0.737	0.666
20	0.738	0.666
21	0.741	0.665
22	0.504	0.431
23	0.738	0.426
24	0.723	0.407

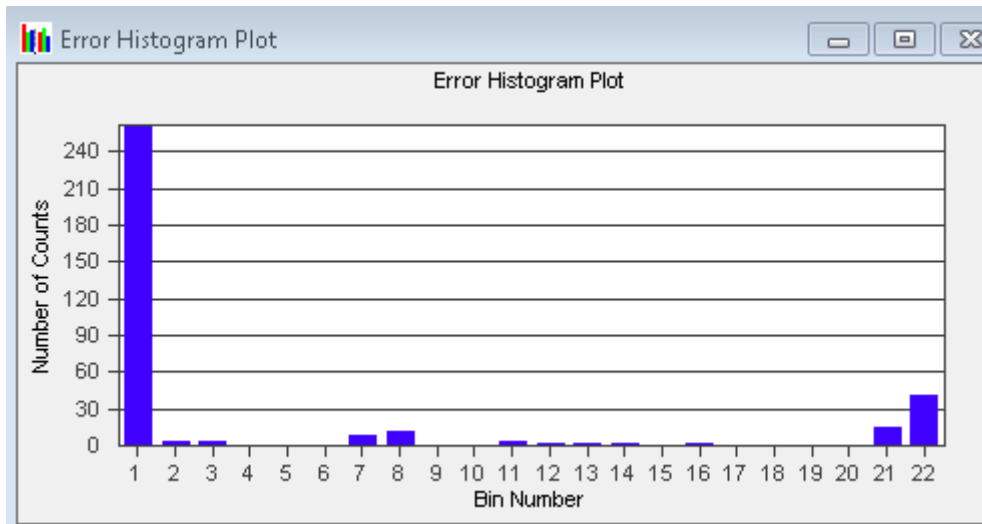
Şekil 4.25. A ve B yaprakları için RMS hata bilgileri.



Şekil 4.26. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	260	73.86	73.86
2	0.005 - < 0.050	3	0.85	74.72
3	0.050 - < 0.100	3	0.85	75.57
4	0.100 - < 0.150	0	0.00	75.57
5	0.150 - < 0.200	0	0.00	75.57
6	0.200 - < 0.250	0	0.00	75.57
7	0.250 - < 0.300	8	2.27	77.84
8	0.300 - < 0.350	12	3.41	81.25
9	0.350 - < 0.400	0	0.00	81.25
10	0.400 - < 0.450	0	0.00	81.25
11	0.450 - < 0.500	4	1.14	82.39
12	0.500 - < 0.550	1	0.28	82.67
13	0.550 - < 0.600	2	0.57	83.24
14	0.600 - < 0.650	1	0.28	83.52
15	0.650 - < 0.700	0	0.00	83.52
16	0.700 - < 0.750	2	0.57	84.09
17	0.750 - < 0.800	0	0.00	84.09
18	0.800 - < 0.850	0	0.00	84.09
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	84.09
20	0.900 - < 0.950	0	0.00	84.09
21	0.950 - < 1.000	15	4.26	88.35
22	1 and above	41	11.65	100.00

Şekil 4.27. A ve B yaprağı için hata histogram bilgileri.



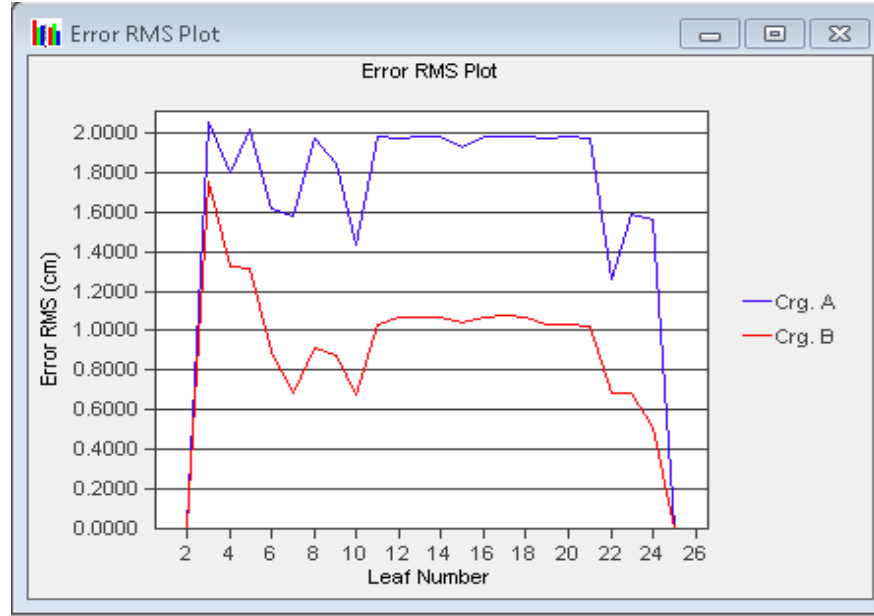
Şekil 4.28. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

Dynalog dosyalarından, 90° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler şekil 4.29-4.32' de gösterilmiştir.

Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında gösterilmiş olup planda kullanılan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 1,837 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.996 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 2.051 cm ile 3 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 1.756 cm ile 3 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve sonuçta 131 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 10 sayım da 0.30-0.35 cm aralığında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	1.837	0.996
Maximum	2.051	1.756
3	2.051	1.756
4	1.800	1.321
5	2.020	1.317
6	1.613	0.899
7	1.576	0.684
8	1.971	0.910
9	1.846	0.875
10	1.435	0.679
11	1.983	1.028
12	1.976	1.068
13	1.978	1.072
14	1.978	1.072
15	1.923	1.042
16	1.977	1.072
17	1.984	1.075
18	1.979	1.069
19	1.975	1.028
20	1.979	1.028
21	1.976	1.026
22	1.257	0.682
23	1.587	0.685
24	1.558	0.515

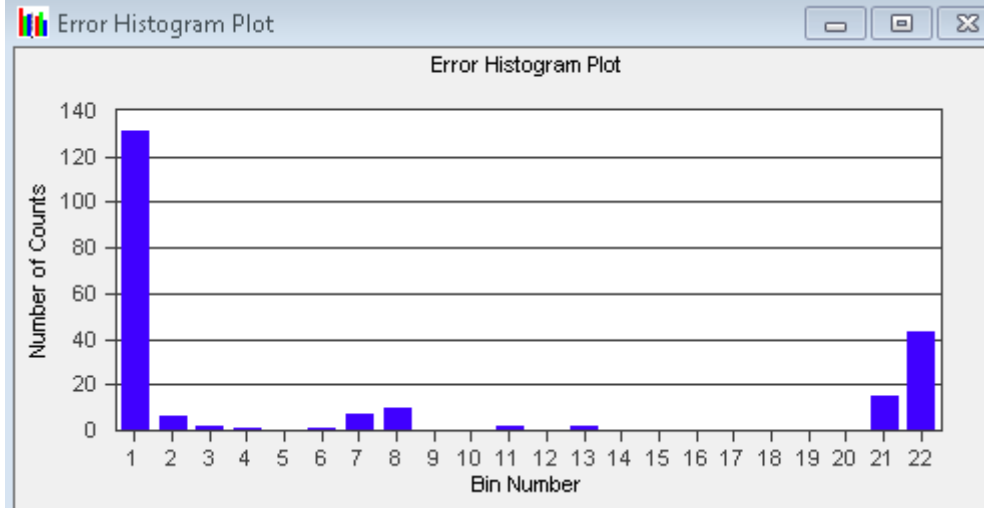
Şekil 4.29. A ve B yaprakları için RMS hata bilgileri.



Şekil 4.30. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	131	59.55	59.55
2	0.005 - < 0.050	6	2.73	62.27
3	0.050 - < 0.100	2	0.91	63.18
4	0.100 - < 0.150	1	0.45	63.64
5	0.150 - < 0.200	0	0.00	63.64
6	0.200 - < 0.250	1	0.45	64.09
7	0.250 - < 0.300	7	3.18	67.27
8	0.300 - < 0.350	10	4.55	71.82
9	0.350 - < 0.400	0	0.00	71.82
10	0.400 - < 0.450	0	0.00	71.82
11	0.450 - < 0.500	2	0.91	72.73
12	0.500 - < 0.550	0	0.00	72.73
13	0.550 - < 0.600	2	0.91	73.64
14	0.600 - < 0.650	0	0.00	73.64
15	0.650 - < 0.700	0	0.00	73.64
16	0.700 - < 0.750	0	0.00	73.64
17	0.750 - < 0.800	0	0.00	73.64
18	0.800 - < 0.850	0	0.00	73.64
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	73.64
20	0.900 - < 0.950	0	0.00	73.64
21	0.950 - < 1.000	15	6.82	80.45
22	1 and above	43	19.55	100.00

Şekil 4.31. A ve B yaprağı için hata histogram bilgileri.



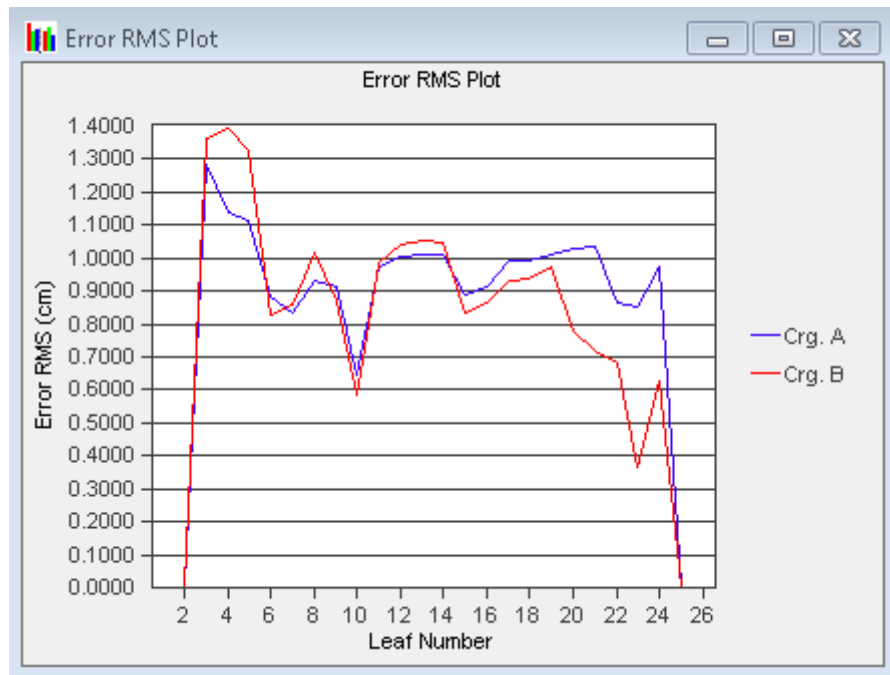
Şekil 4.32. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

Dynalog dosyalarından, 270° ışınlamada A ve B taşıyıcıları için elde edilen veriler şekil 4.33-4.37' de gösterilmiştir.

Bu bilgiler RMS hata verileri kısmında gösterilmiş olup planda kullanılan 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 numaralı yaprakların hata verilerini içermektedir. A taşıyıcı grupta ortalama 0,968 cm hata bulunmuştur. B taşıyıcı grupta ortalama 0.913 cm hata bulunmuştur. A taşıyıcı grupta maksimum hata 1,282 cm ile 3 numaralı yaprak B taşıyıcı grupta maksimum hata 1,391 cm ile 4 numaralı yapraktır. Hata histogram verilerin de ise 0.005 cm ile 1 cm ve üzeri aralıkta hata sayımları yapılmış ve sonuçta 263 sayım 0-0.005 cm aralığında ve 15 sayım da 0.30-0.35 cm aralığında bulunmuştur ve hata histogramlarına ait grafik çizilmiştir.

Leaf No.	Crg. A.	Crg. B
Average	0.968	0.913
Maximum	1.282	1.391
3	1.282	1.362
4	1.138	1.391
5	1.115	1.330
6	0.881	0.825
7	0.835	0.860
8	0.932	1.014
9	0.914	0.868
10	0.644	0.584
11	0.976	0.986
12	1.002	1.039
13	1.009	1.055
14	1.012	1.049
15	0.888	0.836
16	0.910	0.863
17	0.990	0.929
18	0.994	0.939
19	1.009	0.975
20	1.028	0.780
21	1.033	0.721
22	0.866	0.682
23	0.855	0.363
24	0.972	0.625

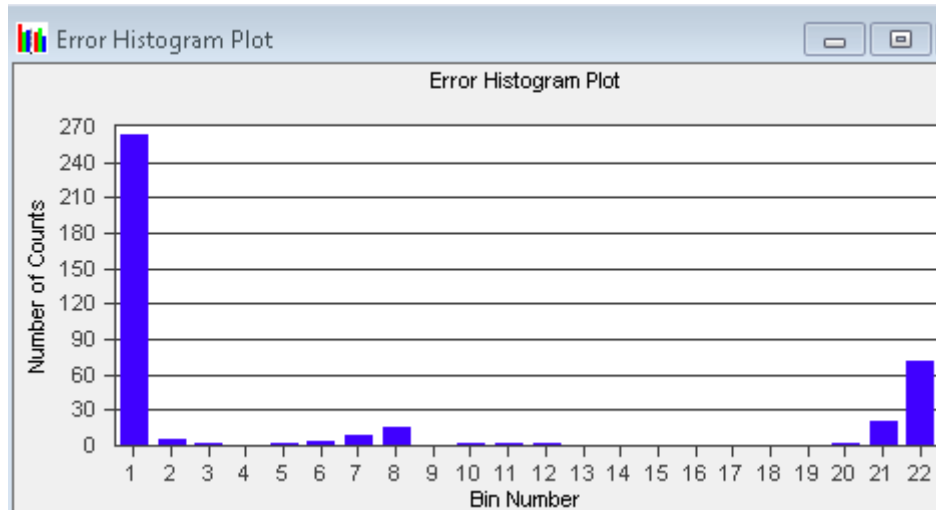
Şekil 4.33. A ve B yaprakları için RMS hata bilgileri.



Şekil 4.34. A ve B yaprakları için RMS hata grafiği.

Bin No.	Error (cm.)	# of Counts	Percent	Percent Sum
1	0.000 - < 0.005	263	66.41	66.41
2	0.005 - < 0.050	5	1.26	67.68
3	0.050 - < 0.100	1	0.25	67.93
4	0.100 - < 0.150	0	0.00	67.93
5	0.150 - < 0.200	2	0.51	68.43
6	0.200 - < 0.250	4	1.01	69.44
7	0.250 - < 0.300	9	2.27	71.72
8	0.300 - < 0.350	15	3.79	75.51
9	0.350 - < 0.400	0	0.00	75.51
10	0.400 - < 0.450	1	0.25	75.76
11	0.450 - < 0.500	2	0.51	76.26
12	0.500 - < 0.550	1	0.25	76.52
13	0.550 - < 0.600	0	0.00	76.52
14	0.600 - < 0.650	0	0.00	76.52
15	0.650 - < 0.700	0	0.00	76.52
16	0.700 - < 0.750	0	0.00	76.52
17	0.750 - < 0.800	0	0.00	76.52
18	0.800 - < 0.850	0	0.00	76.52
19	0.850 - < 0.900	0	0.00	76.52
20	0.900 - < 0.950	2	0.51	77.02
21	0.950 - < 1.000	20	5.05	82.07
22	1 and above	71	17.93	100.00

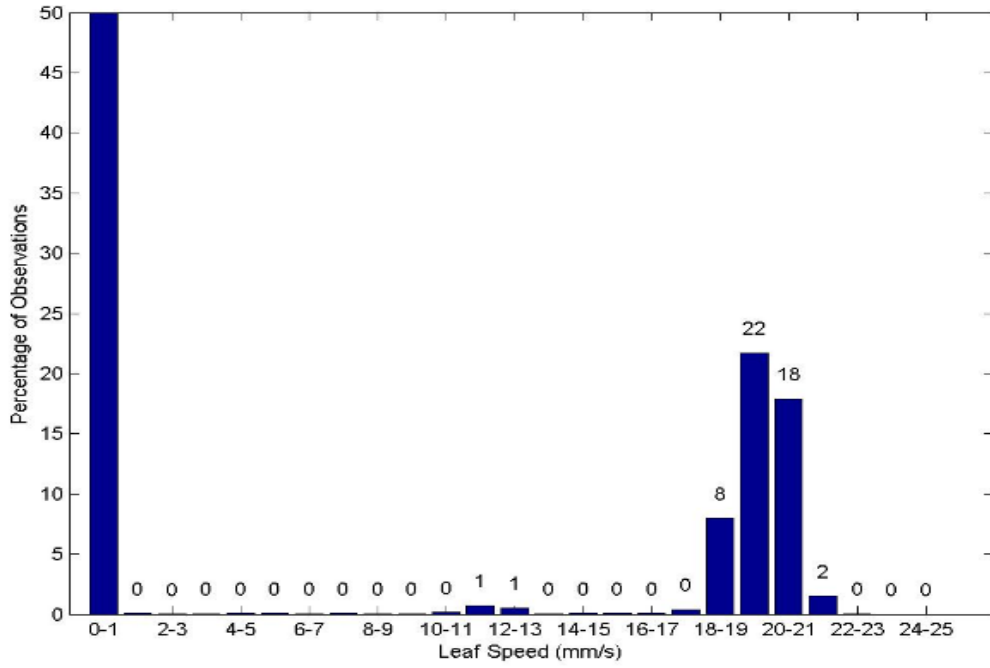
Şekil 4.35. A ve B yaprağı için hata histogram bilgileri.



Şekil 4.36. A ve B yaprağı için hata histogram grafiği.

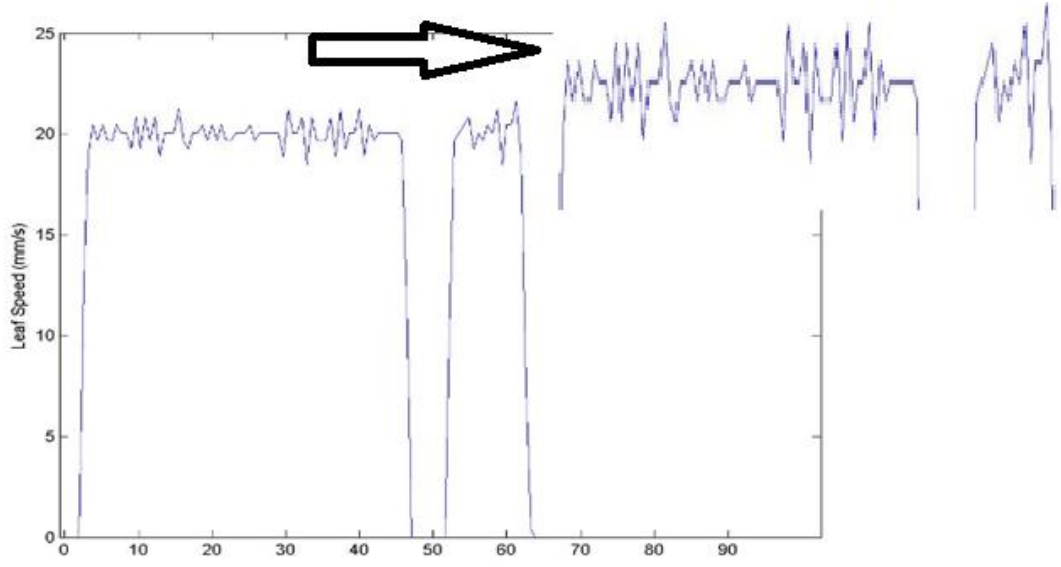
4.2.2 Brainlab marka Novalis lineer hızlandırıcıda dijital kamera ile alınan yaprak bilgilerinin MATLAB programıyla analizinden elde edilen sonuçlar.

A ve B taşıyıcıları için 0 °ölçüm verileri şekil 4.37-4.40' de gösterilmiştir. Kamera ile kaydedilen görüntüler Matlab programında işleme sokulduğunda yaprakların hız bilgilerine ulaşılmıştır. Yaprak hızları 18-19 mm/s aralığında %16, 19-20 mm/s aralığında %44, 20-21 mm/s aralığında %36 oranında bulunmuştur.

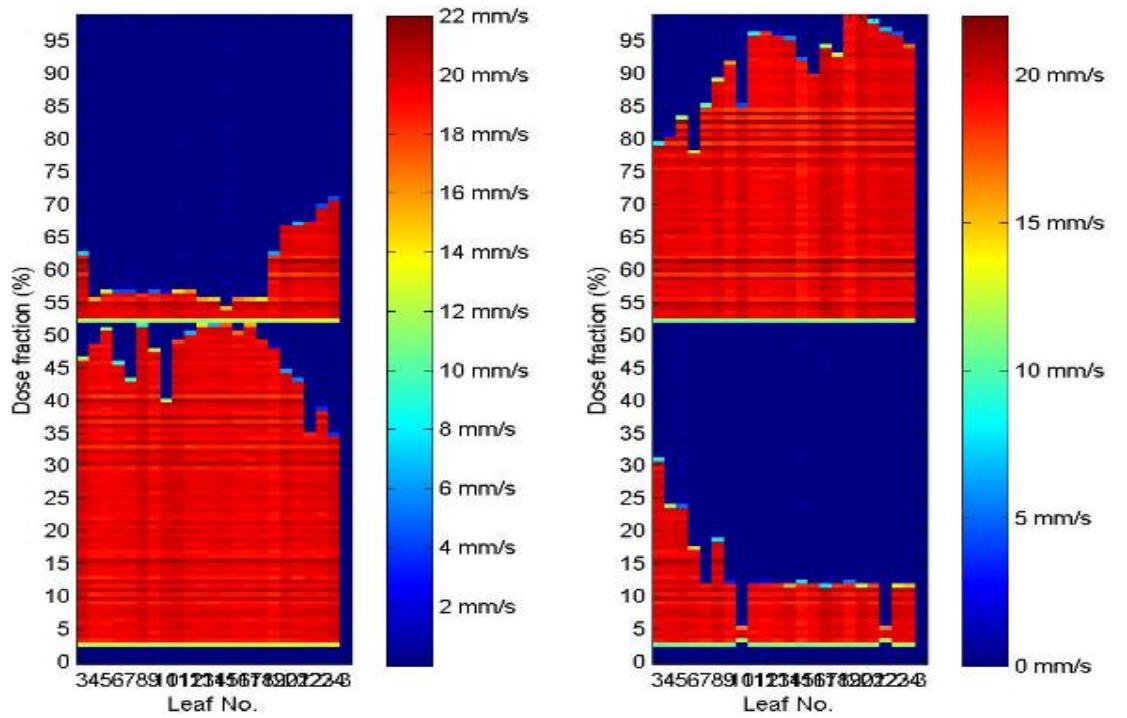


Şekil 4.37. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.

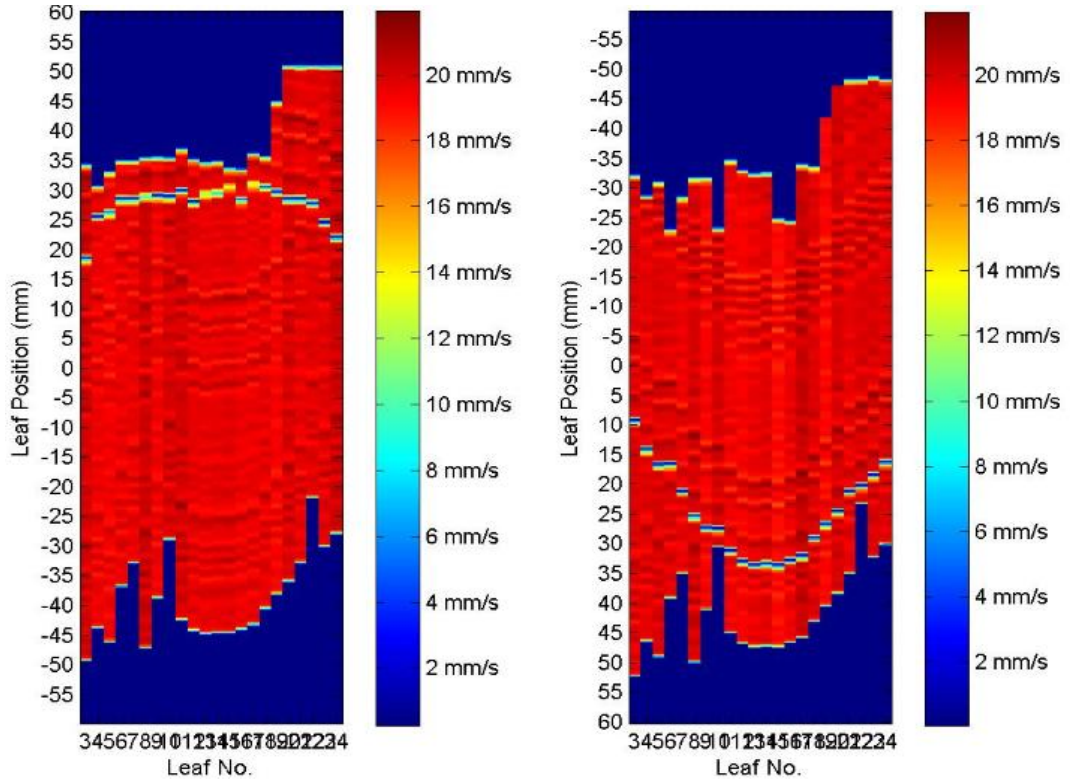
A ve B taşıyıcıları 2.0 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



Şekil 4.38. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.

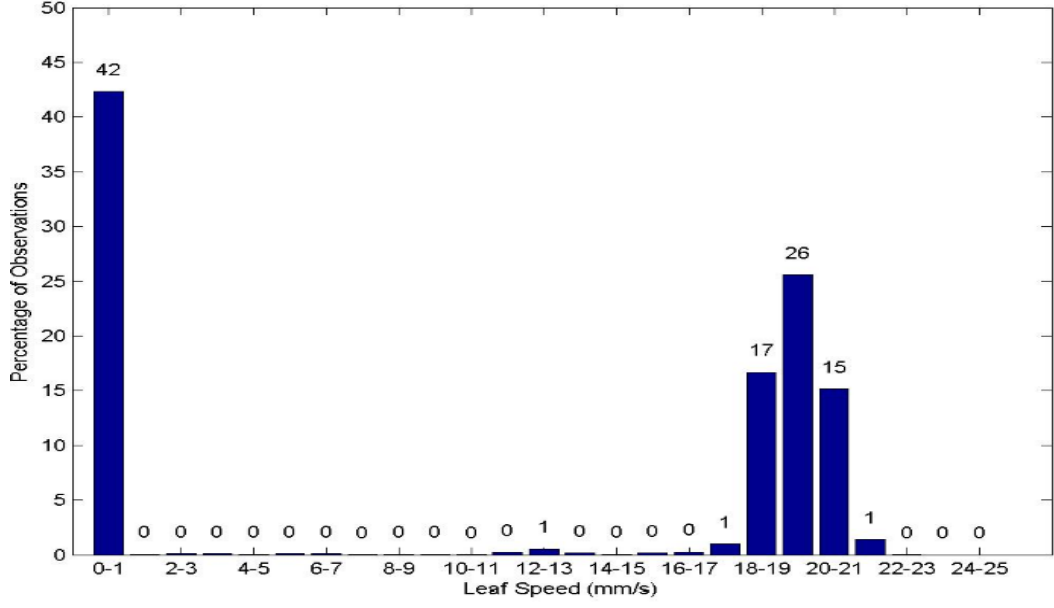


Şekil 4.39. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.



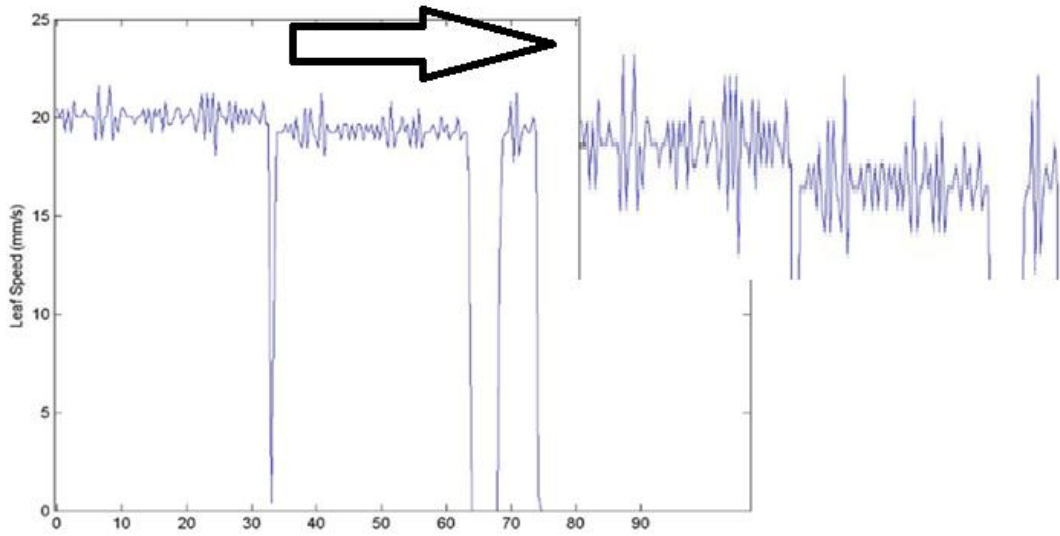
Şekil 4.40. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı

- A ve B taşıyıcıları için 90 °ölçüm verileri şekil 4.41-4.44' de gösterilmiştir. Kamera ile kaydedilen görüntüler Matlab programında işleme sokulduğunda yaprakların hız bilgilerine ulaşılmıştır. Yaprak hızları 18-19 mm/s aralığında %34, 19-20 mm/s aralığında %52, 20-21 mm/s aralığında %30 oranında bulunmuştur.

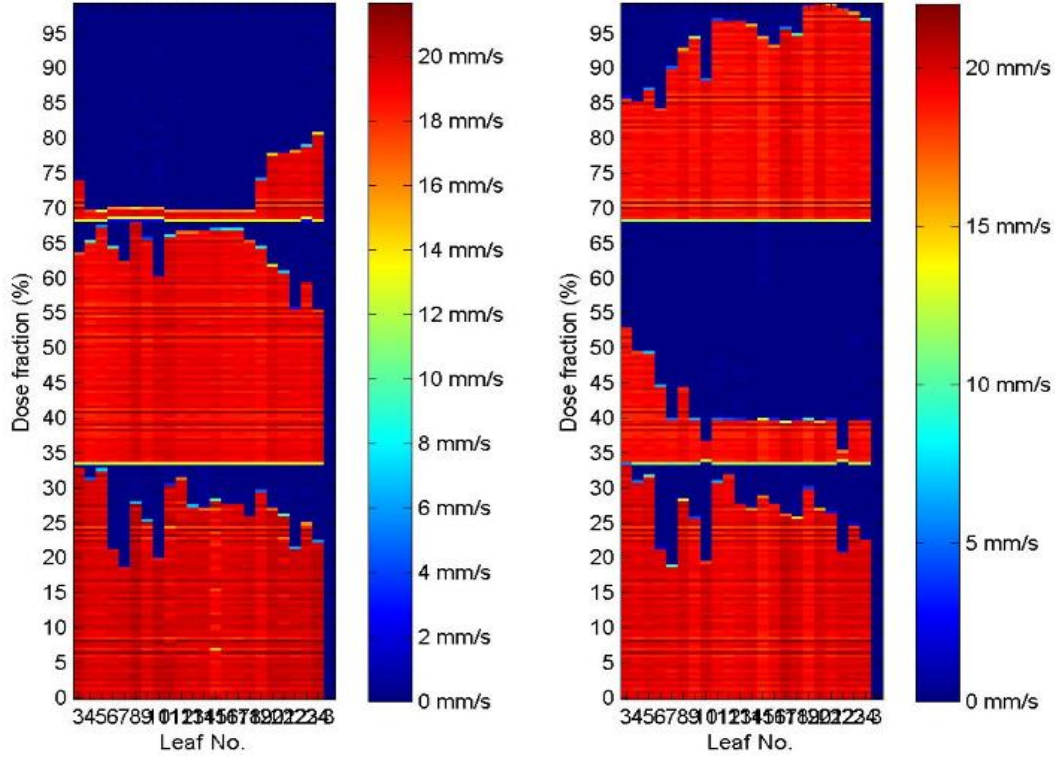


Şekil 4.41. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.

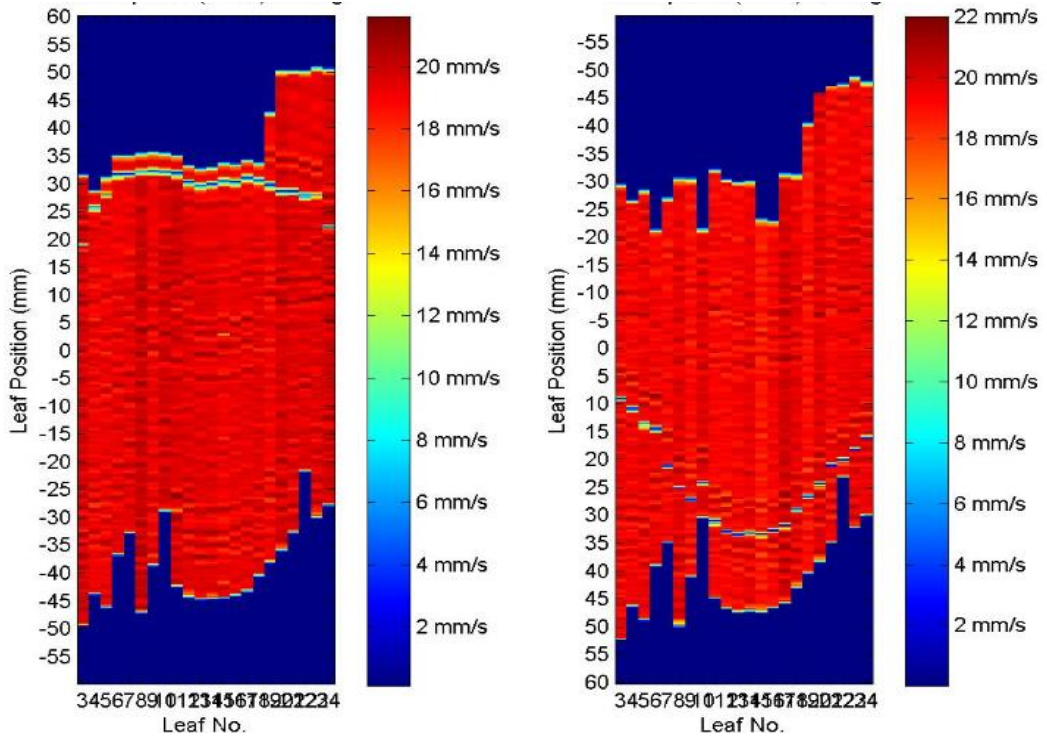
A ve B taşıyıcıları 1.95 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



Şekil 4.42. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.

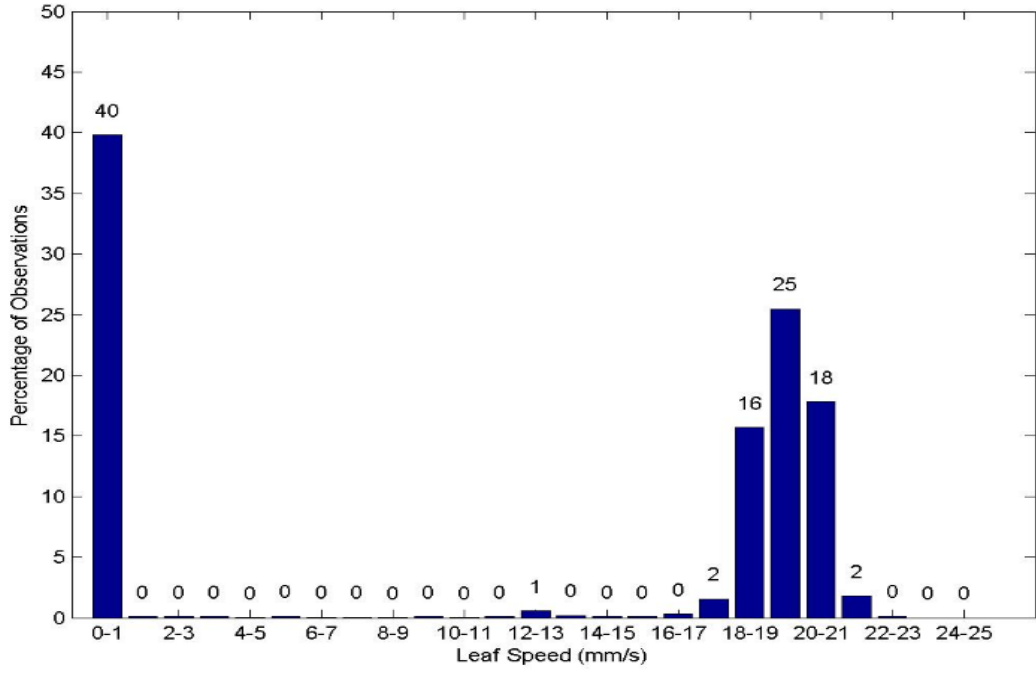


Şekil 4.43. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.



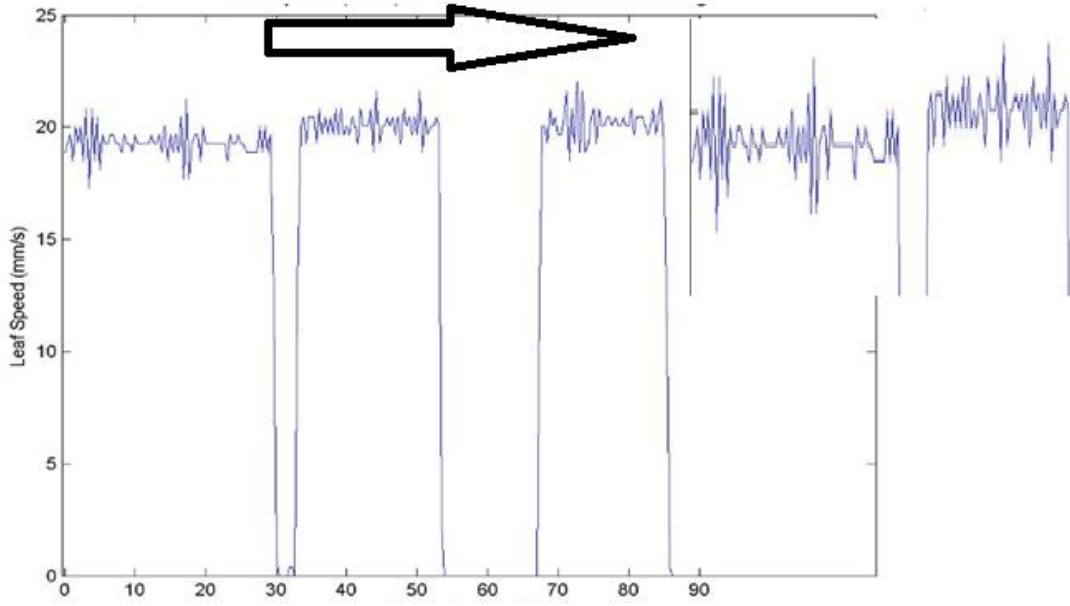
Şekil 4.44. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı

- A ve B taşıyıcıları için 270 °ölçüm verileri şekil 4.45-4.48' de gösterilmiştir. Kamera ile kaydedilen görüntüler Matlab programında işleme sokulduğunda yaprakların hız bilgilerine ulaşılmıştır. Yaprak hızları 18-19 mm/s aralığında %32, 19-20 mm/s aralığında %50, 20-21 mm/s aralığında %36 oranında bulunmuştur.

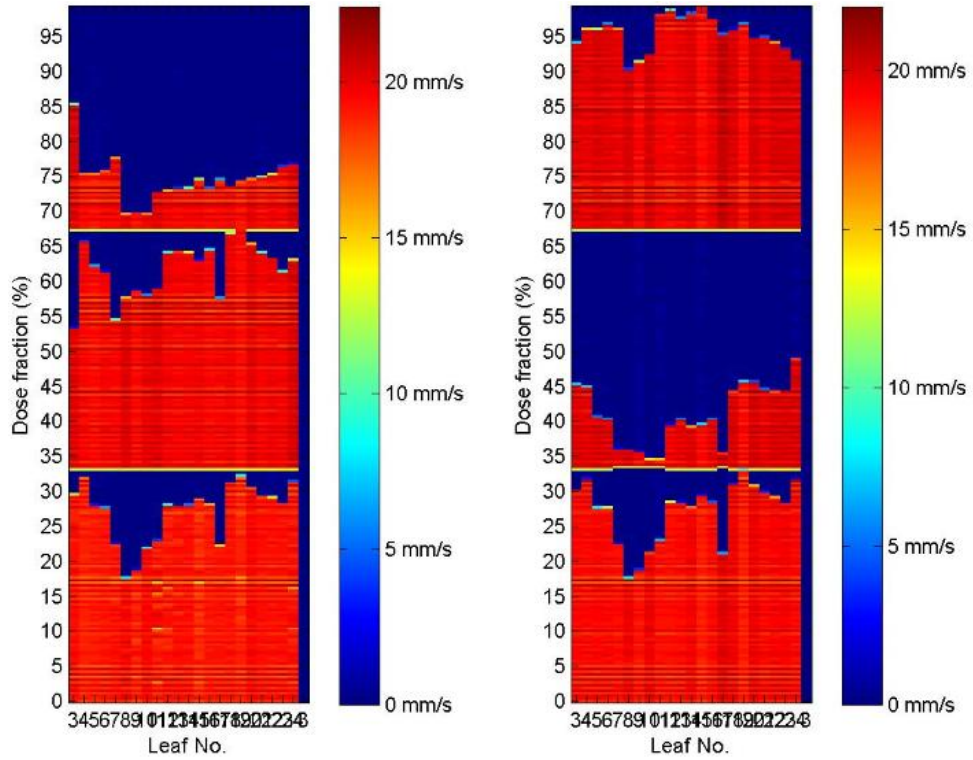


Şekil 4.45. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının gözlenme sıklığına bağlı grafiği.

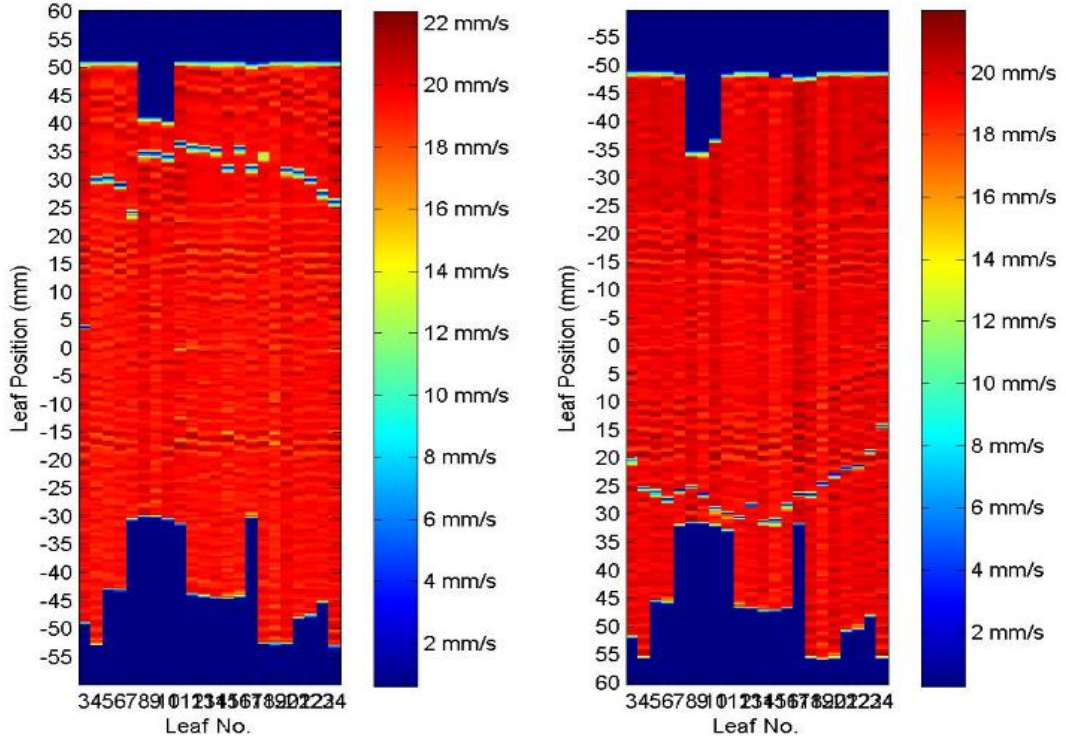
A ve B taşıyıcıları 2.1 cm/s ortalama hızla hareket ederken dalgalanmalar görülmektedir.



Şekil 4.46. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının zamana bağlı grafiği.



Şekil 4.47. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre doz dağılım histogramı.



Şekil 4.48. A ve B taşıyıcıları için yaprak hızlarının yaprak numaralarına göre pozisyon dağılım histogramı.

4.2.3. Dijital Kamera ölçüm sonuçlarıyla Dynalog dosyalarının sonuçlarının karşılaştırılması:

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 0° için sonuçlar Tablo 4.4'de özetlenmiştir. A taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 1.636 ± 0.2 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 1.642 ± 0.2 cm olarak saptanmıştır ($p=0.07$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.897 ± 0.2 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.936 ± 0.3 cm olarak saptanmıştır ($p=0.06$)

Tablo 4.4. 0° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.

Yaprak Numarası	Crg A. (cm)	Crg A kamera (cm)	Crg B. (cm)	Crg B kamera (cm)
Ortalama	1.636	1.642	0.897	0.936
Maksimum	1.824	1.839	1.582	1.593
3	1.824	1.839	1.582	1.593
4	1.601	1.617	1.191	1.201
5	1.797	1.781	1.187	1.905
6	1.435	1.455	0.81	0.821
7	1.403	1.389	0.616	0.6
8	1.752	1.771	0.82	0.832
9	1.644	1.663	0.789	0.801
10	1.278	1.297	0.612	0.63
11	1.765	1.749	0.926	0.911
12	1.759	1.77	0.963	0.979
13	1.76	1.775	0.966	0.981
14	1.76	1.776	0.966	0.983
15	1.71	1.7	0.939	0.915
16	1.759	1.77	0.966	0.978
17	1.766	1.75	0.969	0.975
18	1.763	1.778	0.963	0.975
19	1.761	1.775	0.927	0.941
20	1.765	1.777	0.927	0.938
21	1.764	1.749	0.924	0.935
22	1.122	1.132	0.614	0.628
23	1.415	1.408	0.617	0.6
24	1.39	1.405	0.464	0.48

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 90° için sonuçlar Tablo 4.5'de özetlenmiştir. A

taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.651 ± 0.07 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.650 ± 0.08 cm olarak saptanmıştır($p=0.9$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.605 ± 0.1 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.612 ± 0.1 cm olarak saptanmıştır($p=0.3$).

Tablo 4.5. 90° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.

Yaprak Numarası	Crg A. (cm)	Crg A kamera (cm)	Crg B. (cm)	Crg B kamera (cm)
Ortalama	0.651	0.65	0.605	0.612
Maksimum	0.731	0.789	0.756	0.799
3	0.721	0.732	0.738	0.749
4	0.727	0.769	0.756	0.799
5	0.731	0.789	0.738	0.75
6	0.702	0.655	0.642	0.629
7	0.626	0.64	0.384	0.369
8	0.699	0.715	0.648	0.615
9	0.658	0.675	0.581	0.666
10	0.463	0.411	0.576	0.59
11	0.667	0.685	0.6	0.615
12	0.667	0.683	0.673	0.689
13	0.657	0.645	0.673	0.612
14	0.662	0.6	0.674	0.66
15	0.644	0.65	0.656	0.66
16	0.667	0.673	0.673	0.68
17	0.662	0.68	0.676	0.683
18	0.656	0.632	0.672	0.655
19	0.656	0.645	0.601	0.589
20	0.656	0.66	0.6	0.609
21	0.659	0.685	0.6	0.649

22	0.448	0.46	0.389	0.399
23	0.656	0.635	0.384	0.4
24	0.643	0.601	0.367	0.415

Dijital kameradan alınan görüntülerden her bir yaprağın hız ve konum bilgilerine ulaşılmış ve RMS'leri oluşturulup dynalog dosyalarındaki RMS bilgileriyle karşılaştırılmıştır. 270° için sonuçlar Tablo 4.6'da özetlenmiştir. A taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.863 ± 0.1 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.869 ± 0.1 cm olarak saptanmıştır($p=0.3$). B taşıyıcısı için dynalog dosyalarından elde edilen rms ortalaması 0.815 ± 0.2 cm iken bizim ölçümlerimizden elde edilen ortalama 0.824 ± 0.2 cm olarak saptanmıştır($p=0.1$).

Tablo 4.6. 270° için A ve B taşıyıcıları RMS sonuçları.

Yaprak Numarası	Crg A. (cm)	Crg A kamera (cm)	Crg B. (cm)	Crg B kamera (cm)
Ortalama	0.863	0.869	0.815	0.824
Maksimum	1.148	1.185	1.245	1.295
3	1.148	1.185	1.219	1.225
4	1.016	1.036	1.245	1.295
5	0.996	0.98	1.190	1.215
6	0.783	0.85	0.740	0.799
7	0.744	0.75	0.767	0.789
8	0.831	0.85	0.907	0.92
9	0.814	0.83	0.773	0.75
10	0.573	0.55	0.521	0.5
11	0.870	0.81	0.880	0.87
12	0.895	0.88	0.926	0.89
13	0.901	0.88	0.941	0.92

14	0.903	0.909	0.936	0.945
15	0.791	0.8	0.747	0.76
16	0.811	0.78	0.771	0.79
17	0.883	0.9	0.829	0.8
18	0.887	0.905	0.838	0.85
19	0.901	0.92	0.870	0.92
20	0.918	0.9	0.697	0.72
21	0.922	0.945	0.643	0.65
22	0.775	0.795	0.606	0.62
23	0.760	0.775	0.327	0.35
24	0.867	0.89	0.558	0.565

5. TARTIŞMA

Bu çalışmamızda dinamik YART uygulamalarında çok yapraklı demet biçimlendiricilerin değişken hızları saptanmıştır. Varian DHX marka lineer hızlandırıcı ve Brainlab Novalis marka lineer hızlandırıcılarda ÇYK sistemlerinde her bir yaprağın tedavi uygulamasında kullandığı anlık hızları ölçümlerimiz sonucunda tayin edilmiştir. Varian marka lineer hızlandırıcıda 3.2-3.9 cm/s hız aralığında bulunan hızlar, Novalis marka lineer hızlandırıcıda 1.8-2.3 cm/s hız aralığında bulunmuştur.

Rms bilgilerinin karşılaştırılmasından Varian lineer hızlandırıcıda, 0° A taşıyıcısı için ortalama %3 ve B taşıyıcısı için ortalama %1, 90°'de A taşıyıcısı için ortalama %3 ve B taşıyıcısı için ortalama %1, 270°'de A taşıyıcısı için ortalama %1 ve B taşıyıcısı için ortalama %8 çıkmıştır. Novalis lineer hızlandırıcıda ise 0°'de A taşıyıcısı için ortalama %0,3 ve B taşıyıcısı için ortalama %4, 90°'de A taşıyıcısı için ortalama %0,2 ve B taşıyıcısı için ortalama %1, 270°'de A taşıyıcısı için ortalama %0,7 ve B taşıyıcısı için ortalama %1 çıkmıştır.

Literatürde bu konu ile ilgili yapılmış benzer çalışmalarda yerçekimi etkisinin yaprak hızlarında değişime neden olabileceği daha önceden gösterilmiştir(6,17). Yer çekiminin pozitif etkisiyle yapraklarda hız artışı ve negatif yönde etkisiyle de hız düşüşünün olabileceği belirtilmiştir. Çalışmamızda da bununla uyumlu veriler elde edilmiştir. Varian marka lineer hızlandırıcıda 0° gantry açısında ölçümler sonucunda ortalama 3.4 cm/s hızla yaprak hareketi gözlenirken 90° gantry açısında ölçümler sonucunda ortalama 3.5 cm/s ve 270° gantry açısında ölçümler sonucunda ortalama 3.3 cm/s hızla yaprak hareketleri gözlenmiştir. Ayrıca açı değişimlerinin ÇYK hızların anlık değişimlerinde dalgalanmaya yol açtığı gözlenmiştir. Novalis marka lineer hızlandırıcıda da benzer şekilde 0° gantry açısında ölçümler sonucunda ortalama 2 cm/s hızla yaprak hareketi gözlenirken, 90° gantry açısında 1.95 cm/s ve 270° gantry açısında 2.1 cm/s hızla yaprak hareketleri gözlenmiştir. Novalis cihazında da açı değişimlerinin ÇYK hızların anlık değişimlerinde dalgalanmaya yol açtığı gözlenmiştir. Her bir yaprak için anlık

hız değişimleri incelendiğinde yerçekimi etkisinin hızlarda anlık %5 e varan oranlarda dalgalanmalara neden olduğu gözlenmiştir.

Suh ve ark'nın yaptığı Dynalog dosyalarının incelenmesine dayandırılan çalışmaya göre, gelişen teknolojiyle birlikte yaprak hızlarının artışına bağlı olarak hız değişimlerindeki hataların hastalarda ciddi sorunlara yol açabileceği söylenmektedir ve kalite kontrol gereksiniminden bahsedilmektedir(18). Bu noktada, geliştirdiğimiz kalite kontrol testinin bu ihtiyaca bir çözümlenebileceği düşünölmektedir. Kalite kontrolünün temininde yaprak hızlarının değişiminin göz ardı edilemeyeceğinin bir göstergesi olarak yaprak hızlarındaki anlık %5'e varan dalgalanmaları temel alarak yapılacak tedavi planlamaların kalite kontrolünde daha hassas çalışılması gerektiğini düşünmekteyiz.

Jeraj ve ark'nın çalışmasında ise kompleks alanlarda yaprakların alanları oluşturabilmek için hızlarını modüle etmelerinin yapraklarda anlık hatalara neden olduğu söylenmektedir. Yaprakların hızlarının 0.02-5 cm/s aralığında çalıştığı çalışmada belirtilmiş iken, yaprakların olabildiğince hızlı olmaları gerektiği belirtilmiştir(19). Çalışmamızda yaprak hızlarını belirtilen aralıkta bulmamıza ilave olarak ek kısmında gösterildiği üzere %5'e ulaşan anlık hataları saptayabildik. Bu nedenle yaprak hızlarının maksimize edilmesinin düşük doz hızlarında daha sağlıklı olacağı sonucunu beraberinde getirmektedir. Doz hızı ve yaprak hızı ilişkisinden yola çıkarak düşük doz hızlarında çalışmanın hız değişimlerinde daha az farklılığa neden olacağını düşünöbiliriz.

Wijesooriya ve ark'nın yaptığı çalışmada 4 boyutlu radyoterapinin doğrudan yaprak hızlarına bağlı olacağına değinilirken yaprak hızlarının gelecekte daha da artacağını öngörmekte ve anlık hız değişimlerinin de artabileceğini belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak kalite kontrolün daha da önem kazanacağı sonucuna varmışlardır(17). Bu nedenle mevcut testimizin geliştirilmesiyle birlikte gelecekte daha da hızlanmış yaprakların hızlarının saptanmasının daha hassas ve en önemlisi daha kısa zamanlarda belirlenmesi düşünölebilir.

Litzenberg ve ark'nın yaptığı çalışmada ise YART uygulamalarında yaprak hareketlerinin anlaşılmasının teknik açısından çok büyük önem taşıdığına vurgu yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmanın rutin yaprak kalite kontrol testi gereksinimini karşılamadığından sadece Dynalog dosya analizinden ibaret olduğundan bahsedilmiştir(20). Bu noktada geliştirdiğimiz testin bu yönde bir açığı kapatacağını düşünmekteyiz. Çalışmamızla birlikte yaprakların tedavi esnasındaki davranışları tamamıyla gözlenmiştir. Fakat zamansal olarak ele alındığında kalite kontrolünün çözümlenmesi işlemi gereğinden fazla vakit aldığından rutin olarak kliniklerde kullanımının henüz mümkün olmadığı ancak üç aylık kontrollerin içine girebileceğini düşünmekteyiz.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Yer çekimi etkisi ile Varian marka cihazda 90° ve 270° de %3 ve %8 Novalis marka cihazda ise %1 oranında bulunmuştur. Bu nedenle bu açılarda kalite kontrol testi gerekmektedir.

2. Geliştirdiğimiz test anlık lif hızlarının belirlenmesinde kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

3. Yaprak hızlarının tespiti ve kalite kontrolü kısa süreli bir işlem haline getirilmek adına geliştirilen test başarıya ulaşmasına rağmen rutin kullanım adına zamansal sorunlar çıkarmaktadır. Testimizin çözümü yapan kişiye bağlı olmakla beraber 12-24 saat arası sürmektedir. Bu nedenle rutin uygulamalarda üç aylık periyodik kontrol olarak kullanılabileceğini düşünmekteyiz.

4. Bu test ucuz ve pratik bir kalite kontrol yöntemidir.

5. Mevcut yaprak hızı kontrol testlerinin tamamı cihaz dosyalarına dayalıdır. Ancak geliştirdiğimiz test sistemin harici kontrolünü yaptığı için, kalite kontrol prensipleriyle tam uyum sağlamaktadır.

7.KAYNAKLAR

1. Khan, F.M. (2007). Treatment Planning in Radiation Oncology. Second Edition. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins.
2. IMRT, IGRT, SBRT-Advances in the Treatment Planing and Delivery of Radiotherapy. John L. Meyer, MD FACR. Department of Radiation Oncology Saint Francis Memorial Hospital Sanfrancisco Calif.(USA).
3. Podgorsak, E. B. (2005). Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students, Sales and Promotion Unit, IAEA.
4. Anup,K., Bhardwaj,T.S., Kehwar,C., Chakarvarti,S.K., Oinam, A.S., Sharma, J. (2007). Cancer Res. Ther. 3.
5. AAPM Report No. 72. (2001). Basic applications of multileaf collimators: report of the AAPM radiation therapy committee task group no. 50. Medical Physics Publishing, Madison.
6. Ing-Ming Hwang, Jay Wu, Keh-Shih Chuang, Hueisch-Jy Ding. (2010). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 623, Issue 3, Pages 867-871.
7. Sarkar, L., Lin, Shi C., Papanikolaou, N. (2007). Med. Phys. 34. 2949.
8. Samant,S.S. , Zheng, N.A., Parra, J., Chandler, A., Gopal, J., Wu, J., Jain, Y., Zhu, M., Sontag.(2002). Med. Phys. 29.12.
9. David Greene, Williams, P. C.(1997).Linear accelerators for radiation therapy. Institute of Physics Pub.
10. ÖZBAY, Ç.R. (2012). Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Planlamalarının Dozimetrik Doğruluklarının Farklı Dozimetrik Sistemler Kullanılarak Karşılaştırılması Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Radyoterapi Fiziği Programı Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
11. Series in Medical Science. (2001). Intensity Modulated Radiation Therapy. Institute of Cancer Research and Royal Marsden NHS Trust, Sutton. Surrey, UK.
12. Dynalog file viewer reference guide (P/N 100013698-02).

13. Varian Linear Accelerator User Manuel.
14. Brainlab Novalis Linear Accelerator User Manuel.
15. Eclipse Treatment Planing System User Manuel.
16. İplan Treatment Planing System User Manuel.
17. Wijesooriya, K., Bartee, C., Siebers, JV., Vedam, SS., Keall, PJ. (2005).Determination of maximum leaf velocity and acceleration of a dynamic multileaf collimator: implications for 4D radiotherapy. Med Phys. Apr;32(4):932-41.
18. Yelin Suh, Elisabeth Weiss, Hualiang Zhong, Mirek Fatyga, Jeffrey V., Siebers, A. (2008). Deliverable Four-Dimensional Intensity-Modulated Radiation Therapy-Planning Method for Dynamic Multileaf Collimator Tumor Tracking Delivery International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics, Volume 71, Issue 5, Pages 1526-1536.
19. Matjaž Jeraj, Vlado Robar.(2004). Multileaf collimator in radiotherapy. Radiol. Oncol. 38(3): 235-40.
20. Dale W. Litzenberg, Jean M. Moran, Benedick A. Fraass.(2002). Verification of dynamic and segmental IMRT delivery by dynamic log file analysis. Journal of Applied Clinical Medical Physics, Volume 3, Number 2.
21. Hayran Mutlu, Hayran Murat. (2011). Sağlık Araştırmaları İçin Temel İstatistik.