



Baş Boyun Karsinomu İçin Eş Zamanlı Entegre Ek Doz Yöntemi Kullanılan YART ve VMAT Planlarının Gama Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Gamze TEKDAL^{1*}, Taha ERDOĞAN² ve Aytunç ATEŞ^{*3}

¹Sağlık Fiziği / Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye

² Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü / AFSÜ Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Türkiye

³ Malzeme Mühendisliği Bölümü / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, AYBU, Türkiye

*(aates@ybu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Baş boyun kanserleri dudaklar, ağız boşluğu, orofarinks, nazofarinks, hipofarinks, larinks, burun boşluğu ve paranasal sinüsler, tiroid bezi ve tükürük bezlerinde lokalize olmuş kanserlerdir. Görülme sıklığı açısından yaygın olan baş boyun kanserinde tercih edilen tedavi yöntemlerinden birisi de radyoterapidir. Bu çalışmanın amacı, doz hacim histogramları verilerini kullanarak Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) ve Volümetrik Modülasyonlu Ark Terapi (VMAT) tedavi yöntemleri ile kritik organların aldığı dozların değerlendirilmesi ve bu iki tedavi yönteminin Kalite Güvenirliği (KG) ölçümlerinin incelenmesidir. Çalışmanın birinci kısmında, baş boyun kanseri tanısı konulmuş onyediyedi (17) hastaya, ayrı ayrı yedi (7) alan YART ve planar ve co-planar üç (3) çift arklı VMAT planlamaları Eclipse Tedavi Planlama Sistemi (TPS) ile yapılmıştır. YART ve VMAT teknikleri, aynı fraksiyonda farklı doz şemalarının uygulanması adına entegre ek doz yöntemi (SIB) ile birlikte uygulanmıştır. Yüksek riskli lenf nodlarına ve düşük riskli lenf nodlarına farklı dozlar reçete edilerek planlanan hedef hacimlerin (PTV) verilen dozun %95'ini alacak şekilde tedavi planları normalize edilmiştir. Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) tarafından belirlenen kritik organ doz sınırlamalarına göre tedavi alanında yer alan her bir kritik organın aldığı doz, TPS doz hacim histogramı üzerinden kontrol edilmiştir. Doz değerleri maksimum ve ortalama doz değerleri kaydedilip istatistiksel açıdan incelenmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, YART ve VMAT planlarının doğruluğunu kontrol etmek için KG testi için gama analizi yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Gama analizi değerlendirmesi için doz farkı (DD) %3 ve doz mesafe uyumu (DTA) 3 mm global kriterine göre değerlendirilme yapılmış olup gama geçiş oranı %95 olan planlar kabul testinden geçmiştir. Elde edilen verilerin gerekli kriterleri sağlama durumu ve iki tedavi yönteminin birbiri ile olan uyumluluğu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Radyoterapi, YART, VMAT, SIB, EPID, Gama Analizi

I. GİRİŞ

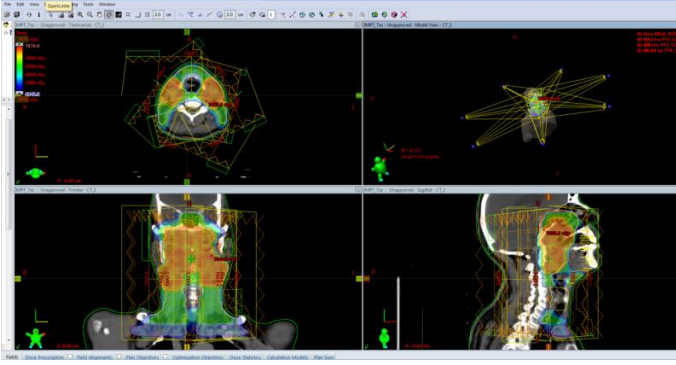
Baş ve boyun kanseri, yaygınlık açısından dünya genelinde yedinci sırada yer alır ve üst sindirim sistemini etkileyen çeşitli tümör gruplarından oluşur [1]. Baş boyun bölgesinde kritik organ sayısı fazladır ve radyoterapide tedavi planlama ve uygulaması açısından oldukça kompleks ve zorlayıcı tedavi planları gerektirmektedir. Risk altındaki bu organların hasara neden olabilecek radyasyon dozu seviyelerinden korunması sağlanır. Fakat normal doku risklerini azaltmak için hedef tümör hacminden (PTV) taviz verilmemesi gerekmektedir [2]. Yapılan bu çalışmada YART ve VMAT radyoterapi yöntemleri, baş boyun bölgesinde bulunan farklı büyüklükteki tümör hacimlerine tek fraksiyonda farklı dozların verileceği eş zamanlı SIB ile birlikte uygulanmıştır. Aynı anda, öncelikli hedefe yüksek doz ve subklinik hücreler veya diğer seçili tedavi bölgelerine daha düşük doz vermek üzere tasarlanan bu yöntem baş boyun kanseri tedavisi açısından uygundur. Tedavi edilen hacimlerin dışındaki normal dokular, toplamda daha düşük doz ve daha düşük doz/fraksiyasyon aldıkları için bu tür yöntem ile daha az risk altındadır. Fakat primer hedef hacim içinde bulunan ve primer ile aynı dozu aldığı varsayılan dokuların geç etki toksisiteleri sorun teşkil edebilir [3]. Yüksek dozların verildiği SIB-YART ve SIB-VMAT yöntemlerinde tedavi verimliliğini kontrol edilebilmek için kalite güvenilirliği yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uygulanan yöntemlerden biri olan gama analizi ise tedavi planlarının kalite kontrolünü yapabilmek açısından başvurulan metodlardan sadece birisidir. Her bir tedavi planının kalite güvenilirliği, klinik uygulamalarda üzerine ışınlama yapılan, fantom kurulumu ve ekstra bağlantıya gerek duyulmayan, lineer hızlandırıcı cihazına entegre biçimde bulunan Elektronik Portal Görüntüleme Cihazı (EPID)'nda bulunan portal dozimetre sayesinde tedavi öncesi doz doğruluğu elde edilen doz haritaları ile kontrol edilebilmektedir. İki boyutlu gama analizi yapılan her bir tedavi alanının, düzlemsel doz dağılımları %3/3 mm kritikerlerine göre incelenmiştir. Ölçülen ve hesaplanan doz dağılımını karşılaştırmak için γ analizinin kullanıldığı portal dozimetri yazılımı ile SIB-YART ve SIB-VMAT planlarının KG ölçümleri alınarak yorumlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Uygulama ve Araştırma Merkezi Radyasyon Onkolojisi A.D.'da gerçekleştirilmiştir. Araştırma için Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Etik Kurulu'ndan 09.12.2021-33 toplantı tarihli ve kararı ile etik açıdan sakınca olmadığına ilişkin gerekli izinler alınmıştır. Daha önceden radyoterapi uygulanmış olan 17 baş boyun kanseri hastaya SIB yöntemi ile birlikte YART planları ve VMAT planları yapılarak retrospektif bir çalışma yürütülmüştür. ICRU (Uluslararası Radyasyon Birimleri ve Ölçümleri Komitesi) standartlarına göre hastaların hedef hacim (PTV) ve kritik organları BT, MR ve PET görüntüleri füzyon edilerek planlama BT'si konturlanmıştır.

Her bir hasta için 7 eş düzlemsel alanlı (0° , 51° , 102° , 153° , 204° , 255° , 306°) YART planları ve $\pm 10^\circ$ masa açılı VMAT planları oluşturulmuştur. Bunlar Eclipse® versiyon 13.6.1 tedavi planlama sistemi (TPS) ile hesaplanmıştır (Şekil 1). Tedavi planlamaları, primer tümör bölgesine, yüksek riskli bölgeler ile bu bölgelerin tutulu lenf nodlarına ve elektif lenf nodlarına farklı doz uygulanacak şekilde oluşturulmuştur. Plan değerlendirme aşamalarında PTV'nin aldığı dozun tanımlanan dozun maksimum olarak %110'nun altında olmasına klinik hedef hacim (CTV) ve makroskopik hedef hacmin (GTV) ise tanımlanan dozların tamamının (%100'ünün) alınmasına dikkat edilmiştir.

Kritik organların alması gereken maksimum ve ortalama doz miktarları Radyasyon Tedavisi Onkoloji Grubu (RTOG) tarafından yayınlanan protokoller ile sınırlandırılmıştır. Baş boyun bölgesindeki kritik organlar için RTOG 0225 ve 0615 protokollerindeki belirtilen doz sınırlamaları esas alınmıştır. Tablo 1'de yer alan kritik organların tolerans değerleri dikkate alınarak planlamalar yapıp kaydedilmiştir. Kritik organlara ilişkin bulguların elde edilmesinde kullanılacak analiz yöntemine karar vermek amacıyla ilk aşamada verilere normallik sınaması gerçekleştirilip veriye uygun parametrik veya parametrik olmayan testler yardımıyla YART ve VMAT yöntemleri arasındaki farklılık incelenmiştir.



Şekil 1. 7 eş düzlemsel alanlı YART planının Eclipse TPS arayüzünde gösterimi

SIB-YART planına ait tedavi alanlarının ve SIB-VMAT planına ait tedavi alanlarının her birine Eclipse® yazılımı ile dozimetrik verifikasyon (QA) planları oluşturulmuştur. Varian Trilogy® (Varian, Palo Alto, CA, ABD) marka cihaza ait açılımı Elektronik Portal Görüntüleme Sistemi (EPID) kullanılarak KG ölçümleri alınmıştır.

Trilogy cihazına entegre biçimde yer alan, yüksek çözünürlüklü ve fantom kurulumuna, ekstrasından dışarıdan eklenmesi gereken herhangi bir donanıma ihtiyaç duymayan aS1000 dedektör sistemine sahip olan EPID'in kalibrasyonu ölçümler alınmadan önce yapılmıştır.

EPID cihazı doz birimini CU (Calibrated Unit) cinsinden vermektedir. CU, Monitor Unit (MU) veya Gy veya cGy olarak kalibre edilebilmektedir. EPID'i farklı dozlar için kalibre etmek için; SDD= 100 cm iken 10 x 10 cm²lik alana 100 MU verilip 1 CU'ya karşılık gelecek şekilde ayarlanmıştır. Böylece 1CU=1Gy'e kalibre edilmiştir [4]. Dozimetrik ölçüm ile elde edilen doz haritası ve planlanan doz haritasını piksel olarak ve görüntü olarak karşılaştıran Eclipse® TPS Portal Dozimetri yazılımı ile değerlendirme yapılmıştır.

Gama analizinde %3/3mm kabul kriterleri esas alınmış olup gama indeksinin birden küçük olması koşulunu sağlayan noktaların yüzdesi olarak gama geçiş oranına göre inceleme yapılmıştır.

Tablo 1. Baş boyun kanseri tedavisinde RTOG 0225 ve 0615 çalışma protokollerine göre kritik organ tolerans dozları

Kritik Organ	Tolerans Dozu (Gy)	Kritik Organ	Tolerans Dozu (Gy)
Beyin Sapı	Maksimum 54	Sol Kohlea	Ortalama 45
Larinks	Ortalama 45	Sağ Lens	Maksimum 9
Mandibula	Maksimum 70	Sol Lens	Maksimum 9
Spinal Kord	Maksimum 45	Sağ Optik Sinir	Maksimum 54
Optik Kiazma	Maksimum 54	Sol Optik Sinir	Maksimum 54
Sağ Göz	Ortalama 35	Sağ Parotis Bezi	Ortalama 26
Sol Göz	Ortalama 35	Sol Parotis Bezi	Ortalama 26
Sağ Kohlea	Ortalama 45		

III.BULGULAR

Kritik organlar, VMAT ve YART ölçümlerinden oluşturulan fark (VMAT-YART) serisine uygulanan istatistiksel değerlendirmeler açısından incelenmiştir.

YART beyin sapı doz ortalaması $4023,40 \pm 1443,33$ cGy, VMAT beyin sapı doz ortalaması $3918,30 \pm 1607,19$ cGy bulundu ve $p=(0,69)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sağ lens doz ortalaması $205,60 \pm 1536,99$ cGy VMAT sağ lens doz ortalaması $276,20 \pm 1004,10$ cGy bulundu ve $p=(0,24)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sol lens doz ortalaması $211,80 \pm 277,87$ cGy VMAT sol lens doz ortalaması $250,30 \pm 260,69$ cGy bulundu ve $p=(0,31)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sağ göz doz ortalaması $202,60 \pm 1305,60$ cGy VMAT sağ göz doz ortalaması $255,50 \pm 1042,73$ cGy bulundu ve $p=(0,43)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sol göz doz ortalaması $198,00 \pm 296,10$ cGy VMAT sol göz doz ortalaması $249,30 \pm 277,84$ cGy bulundu ve $p=(0,54)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART optik kiazma doz ortalaması $329,90 \pm 2051,74$ cGy VMAT optik kiazma doz ortalaması $431,90 \pm 1872,43$ cGy bulundu ve $p=(0,82)$ olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sağ optik sinir doz ortalaması $285,10 \pm 2126,67$ cGy VMAT sağ optik sinir doz ortalaması

432,00 ± 2102,90 cGy bulundu ve p=(0,38) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sol optik sinir doz ortalaması 283,00 ± 1789,24 cGy VMAT sol optik sinir doz ortalaması 412,40 ± 1501,18 cGy bulundu ve p=(0,04) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmüştür.

YART spinal kord doz ortalaması 3754,20 ± 772,94 cGy VMAT spinal kord doz ortalaması 3446,20 ± 726,75 cGy bulundu ve p=(0,06) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sağ kohlea doz ortalaması 2958,30 ± 1716,79 cGy VMAT sağ kohlea doz ortalaması 1764,30 ± 1808,21 cGy bulundu ve p=(0,93) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sol kohlea doz ortalaması 1923,60 ± 1532,70 cGy VMAT sol kohlea doz ortalaması 1416,60 ± 1793,25 cGy bulundu ve p=(0,14) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

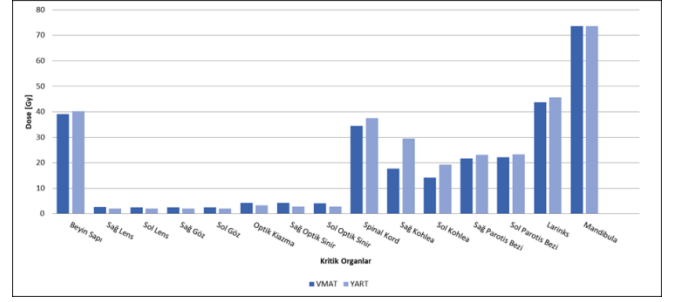
YART sağ parotis bezi doz ortalaması 2309,20 ± 1278,90 cGy VMAT sağ parotis bezi doz ortalaması 2176,10 ± 1121,48 cGy bulundu ve p=(0,51) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART sol parotis bezi doz ortalaması 2323,90 ± 1199,19 cGy VMAT sol parotis bezi doz ortalaması 2217,60 ± 1003,63 cGy bulundu ve p=(0,55) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART larinks doz ortalaması 4567,80 ± 1667,73 cGy VMAT larinks doz ortalaması 4373,60 ± 1908,01 cGy bulundu ve p=(0,58) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

YART mandibula doz ortalaması 7370,20 ± 723,08 cGy VMAT mandibula doz ortalaması 7358,40 ± 571,71 cGy bulundu ve p=(0,09) olduğundan anlamlı bir farklılık görülmemiştir.

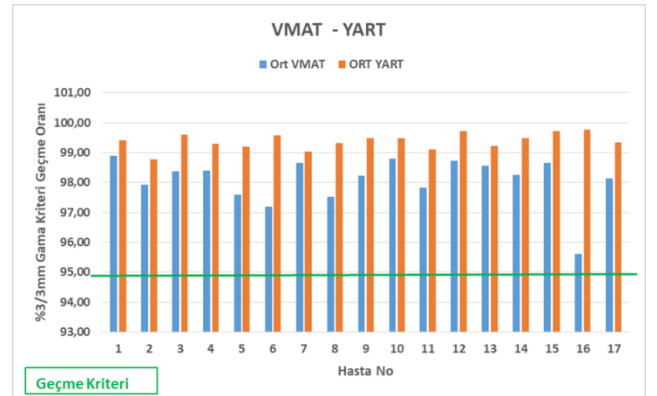
17 hasta için her bir kritik organın aldığı doz miktarları kaydedildiğinde tümör lokalizasyonu hedef hacimler için reçete edilen dozların farklı olması dolayısı ile veriler arasında farkların fazla olduğu gözlemlendi. Alınan dozların medyan ortalamaları grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2 : Baş boyun bölgesindeki kritik organların YART ve VMAT planları ile elde edilen ortalama doz değerlerinin grafiksel gösterimi

Tedavi planlarının kabul edilir veya edilemez olma durumu %95 tolerans kriteri çizgisi ile gösterilmiş olup 17 tane SIB-YART ve 17 tane SIB-VMAT planlarının bu referans değerinin üzerinde kaldıkları ve başarılı olarak kabul edilebilir oldukları grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 3).

Ortalama gama geçiş oranı YART planları için ortalama ve standart sapma sırasıyla 99,750 ± 0,026 olarak bulunmuştur. VMAT planları için ortalama ve standart sapma sırasıyla 98,084 ± 0,008 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3 : %95 gama geçme kriterini geçtiği tespit edilen 17 hastaya ait YART ve VMAT verifikasyon planlarının grafiksel gösterimi

IV. TARTIŞMA

Düzensiz hedef hacimlerine yüksekten düşüğe doğru reçete edilen doz miktarlarının; hedef hacimlerin dolaylarında korumayı amaçladığımız kritik organlar açısından SIB-VMAT ve SIB-YART teknikleri karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızda baş boyun bölgesinde orbita alanında bulunan çok düşük radyasyon toleransına sahip organların YART tekniğinde minimum da olsa daha düşük dozlar aldığı gözlenmiştir. Guckenberg ve ark. yaptıkları çalışmada, YART tekniğinin tek ve çoklu ark VMAT'den daha üstün olabileceği sonucunu elde etmişlerdir [5]. Çoklu ark VMAT, lens, optik kiazma gibi küçük yapıların ayrılamaması ve ayrıca sıcak noktaların (hot spot) kontrol edilememesinden ötürü; hedef hacim ile risk altındaki organlar arasındaki yakınlığın çok düşük radyasyon dozu olsa bile tolere edilebilirlik açısından dezavantaja sahip olduğu gözlemlenmiştir [5]. Studenski ve ark. tarafından yapılan çalışmada kritik organlara dair dozimetrik yaklaşımda bazı kritik organların YART yönteminde üstün olduğunu diğer kritik organlarda ise VMAT tekniğinin üstün olduğu sonuçlar elde edilmiştir. VMAT yönteminin çoğu baş boyun kanseri radyoterapisinde dozun hedef hacimleri daha iyi sarması ve risk altındaki organların (OAR) çoğunun korunduğunu ifade edilmiştir. Küçük OAR (Organ at Risk)'lar çevresinde yüksek doz modülasyonunun gerekli olduğu belirli durumlarda, YART yönteminin avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [5,6].

Parotis bezlerinde ortalama dozlar her hasta için iki yöntemde de 26 Gy'in altında tutulup; VMAT yöntemi ile daha düşük dozlar elde edilmiştir. YART için sağ parotis bezi ve sol parotis bezi ortalama olarak sırasıyla $2309,20 \pm 1278,90$ cGy ve $2323,90 \pm 1199,19$ cGy olarak elde edilmiştir; VMAT için ise sağ parotis bezi ve sol parotis bezi ortalama olarak sırasıyla $2176,10 \pm 1121,48$ cGy ve $2217,60 \pm 1003,63$ cGy olarak elde edilmiştir. Mashhour ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada sağ ve sol parotis bezleri için ayrıca beyin sapı, spinal kord, mandibula, larinks kritik organlarının dozimetrik değerlendirmesinde VMAT yönteminin daha uygun olduğu sonucu literatürde yer almaktadır [7,8].

Rowshanfarzada ve ark. YART ve VMAT planlamalarının uygulamasında MLC performansının değerlendirilmesine yönelik araştırma yapmışlardır. Özellikle farklı tedavilerde gantrinin dönüşü esnasında doz iletimleri sırasında her bir MLC konumunun doğruluğu ve genişlik farkları; her bir yaprağın hızlanması ve yavaşlaması; belli konum aralığındaki MLC hızının stabilitesini yapraklar arasındaki yerçekimi

ve sürtünmeye bağlı olarak etkileyeceğini gözlemlenmiştir [9]. Bu durum KG değerlendirmesi açısından iki yöntem arasındaki farkın oluşmasının nedenlerindedir.

Gama geçiş oranını değerlendirmek açısından Bailey ve arkadaşları da farklı iki sistem kullanarak bir araştırma yapmışlardır. Bunlar arasındaki gama geçiş oranını değerlendirdiklerinde aynı ölçüm yöntemlerini kullanarak elde edilen VMAT KG verilerini, YART KG ile kıyaslamışlardır. Buna göre YART planlarının gama geçiş oranlarını yüzde olarak VMAT planlarının gama geçiş oranlarına göre bir miktar daha uygun bulmuşlardır [10]. Baş boyun kanseri hastalarda YART gama geçiş oranlarının (%99) VMAT gama geçiş oranlarına (% 95) göre daha iyi olduğu sonucu Alhazmi ve arkadaşları [11] global gama kriteri (%3/3mm) değerlendirmesiyle elde edilmiştir.

V. SONUÇLAR

Elde edilen dozimetrik değerler açısından YART planlamalarının orbita bölgesinde küçük kritik organları koruması açısından VMAT'a göre avantaja sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Beyin sapı, spinal kord, kohlea, parotis bezleri, larinks, mandibula kritik organlarda dozimetrik değerlendirme sonucu VMAT planlarının YART planlarına göre aralarındaki fark minimum düzeyde olsa da daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sol optik sinir için yapılan istatistiksel değerlendirmede YART-VMAT teknikleri arasında anlamlı bir farklılık gözlemlenmiştir. Bu da hesaplama aşamasında ortaya çıkan bir teknik sorun olarak kaydedilmiştir. Diğer kritik organlar için iki tedavi yöntemi arasında anlamlı farklılık tespit edilmemiştir.

YART ve VMAT planlarına ait KG planları değerlendirmeleri incelenmiş ve sonuç olarak YART planlarının doz doğrulama sonuçlarının TPS ile uyumunun VMAT planlarının TPS ile uyumundan daha yüksek bulunmuştur. Doz hızı, gantri hızı ve MLC hızı ile etkileşimli olduğundan farklı VMAT tekniği ile sabit açılı YART teknikleri arasındaki oluşan farkın bu sebepten kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

Baş boyun karsinomu için SIB-YART ve SIB-VMAT yöntemlerinden herhangi birinin tercihi tedavinin uygulanacağı kliniğin koşullarına ve

tedavi planlamasını hazırlayan medikal fizik uzmanının avantaj dezavantaj değerlendirmesine bağlı olabilmektedir. Oldukça komplike bir tedavi bölgesi olan ve yüksek dozların verildiği bu yöntemlerin de dozimetrik doğrulaması için portal dozimetri pratik sonuç sunabilmektedir.

based 3D volumetric dosimetry for IMRT and VMAT QA”, *Physics in Medicine & Biology*, vol. 63(11), 115002, 2018.

KAYNAKLAR

- [1] Mody MD, Rocco JW, Yom SS, Haddad RI, Saba NF. “Head and neck cancer”, *Lancet*, vol.398, pp. 2289–99, 2021.
- [2] Marks L.B., Yorke E. D., Jackson A., Ten Haken R. K., Constine L. S., Eisbruch A., Deasy J. O. “Use of Normal Tissue Complication Probability Models in the Clinic”. *Int J Radiation Oncol Biol Phys.*,vol. 76(3), pp 10–19, 2010.
- [3] Mohan R, Wu Q, Manning M, Schmidt-Ullrich R. “Radiobiological considerations in the design of fractionation strategies for intensity-modulated radiation therapy of head and neck cancers” *Int J Radiat Oncol Biol Phys.*, vol. 46(3), pp 619-630, 2000.
- [4] Sukumar P., Padmanaban S., Jeevanandam P., Kumar S.A.S., Nagarajan V., “A study on dosimetric properties of electronic portal imaging device and its use as a quality assurance tool in Volumetric Modulated Arc Therapy”,*Rep. Pract. Oncol. Radiother.*, vol.16(6), pp. 248-255, Nov 2011.
- [5] Guckenberger M., Richter A., Krieger T., Wilbert J., Baier K., Flentje M., “Is a single arc sufficient in volumetric-modulated arc therapy (VMAT) for complex-shaped target volumes?”, *Radiotherapy and Oncology*, vol. 93(2), pp. 259–265, 2009.
- [6] Studenski M. T., Bar-Ad V., Siglin J., Cognetti D., Curry J., Tuluc M., Harrison, A. S., “Clinical experience transitioning from IMRT to VMAT for head and neck cancer”, *Medical Dosimetry*, vol. 38(2), pp. 171–175, 2009.
- [7] Mashhour K., Kamaleldin M., Hashem W., RapidArc vs “Conventional IMRT for Head and Neck Cancer Irradiation: Is Faster Necessary Better?”, *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol 19, pp. 207-211, 2018.
- [8] Kumar S. A., Vivekanandan N., Sriram P., “A study on conventional IMRT and RapidArc treatment planning techniques for head and neck cancers”,*Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, vol. 17(3), pp. 168–175, 2012.
- [9] Rowshanfarzad P., Sabet M., Barnes M. P., O’Connor D. J., Greer P. B., “EPID-based verification of the MLC performance for dynamic IMRT and VMAT”, *Medical Physics*, vol. 39(10), pp. 6192–6207, 2012.
- [10] Bailey D. W., Kumaraswamy L., Bakhtiari M., Malhotra H. K. Podgorsak M. B., “EPID dosimetry for pretreatment quality assurance with two commercial systems”, *Journal of Applied Clinical Medical Physics* vol. 13(4), pp. 82–99, 2012.
- [11] Alhazmi A., Gianoli C., Nepl S., Martins J., Veloza S., Podesta M., Parodi K., “A novel approach to EPID-