

TAC PROTON HIZLANDIRICISININ LINAC ALTERNATİFİ İÇİN DTL SİMÜLASYONU

Abdullatif ÇALIŞKAN, Metin YILMAZ

Gazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500 Teknikokullar, Ankara
e-mail: quarkworld@hotmail.com, metiny@gazi.edu.tr
Alınış: 14 Temmuz 2006, Kabul: 9 Nisan 2007

Özet: Türk Hızlandırıcı Merkezi(TAC) önerisinin içerik dizayn raporu geçmiş yıllarda tamamlandı. Projenin teknik dizayn raporunun ise, önümüzdeki üç yılda yazılması planlanmaktadır. TAC projesinin 1-5 GeV'lik proton hızlandırıcısı kısmı bir sonraki aşamada kurulacaktır. Ön hızlandırıcı olarak tasarlanan p-linac; 3-5 MeV'lik radyofrekans kuadropol linac (RFQ), 50-100 MeV'lik doğrusal sürüklenme tüpü (DTL) ve 100-300 MeV'lik birleştirilmiş kaviteli doğrusal sürüklenme tüpü (CCDTL) aşamalarından oluşur. Süperiletken kaviteelerin kullanılıp kullanılmayacağına ise daha sonra karar verilecektir. Bu çalışmada, DTL hızlandırıcısının dizaynı için simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğrusal Proton hızlandırıcısı, IS, RFQ, DTL, CCDTL, SC

DTL SIMULATION FOR LINAC ALTERNATIVE OF TAC PROTON ACCELERATOR

Abstract: Conceptual Design Report of the Turkic Accelerator Center (TAC) proposal was recently completed. It is planned that the Technical Design Report of the TAC will have been written in the next three years. 1-5 GeV proton accelerator part of the Turkic Accelerator Center (TAC) project will be constructed in the next stage. The proton linac as a preaccelerator consists of 3-5 MeV radio-frequency quadrupole linac (RFQ), a 50-100 MeV drift tube linac (DTL) and a 100-300 MeV coupled-cavity drift tube linac (CCDTL). It will be decided in next years that whether superconducting cavities are used. In this study, a DTL accelerator was designed by using simulation codes.

Keywords: Proton Linac, IS, RFQ, DTL, CCDTL, SC

1. GİRİŞ

Dünyadaki lineer proton hızlandırıcılarına baktığımızda tipik bir LINAC'ta; IS (İyon kaynağı), RFQ (Radio-frequency quadrupole), DTL (Drift-tube linac), CCL (Coupled-cavity linac), CCDTL (Coupled-cavity drift-tube linac) ve SC (Superconducting linac) gibi yapılar yer alabilir (YAMAZAKI vd. 2000, BAYLAC vd. 2006).

Türk Hızlandırıcı Merkezi (TAC) projesinin (SULTANSOY 1993, DPT 2000, DPT 2005, SULTANSOY vd.) önemli bir ayağını oluşturan lineer proton hızlandırıcısının düşük ve orta enerjili kısmı; iyon kaynağı (IS), radyo-frekans dört kutuplu magnet

(RFQ), doğrusal sürüklenme tüpü (DTL) ve çiftlenmiş kaviteli doğrusal sürüklenme tüpü (CCDTL) yapılarından oluşacaktır. Ayrıca iyon kaynağını RFQ tüpüne bağlayan düşük enerjili demet taşıma kanalı ve RFQ tüpünü DTL tüpüne bağlayan orta enerjili bir demet taşıma kanalı yeracaktır. Öncelikle; proton kaynağından gelen yaklaşık 50 keV'lik demetin enerjisi, radyo-frekanslı kuadropol (RFQ) doğrusal hızlandırıcısında 3-5 MeV'e çıkartılır.

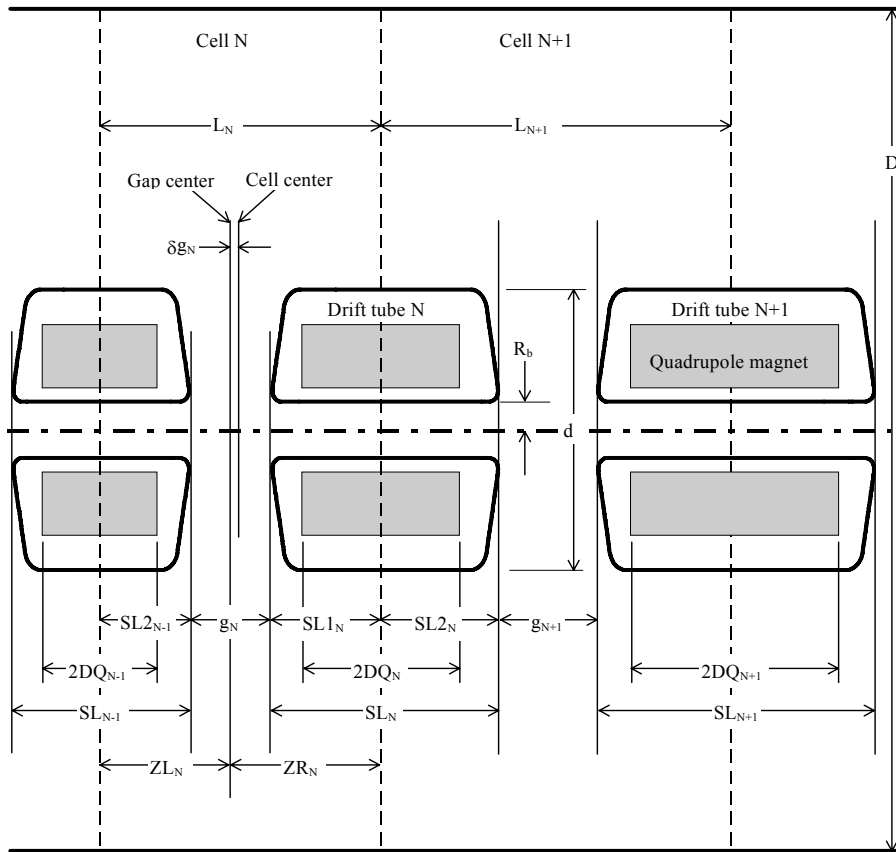
Bir sonraki aşamada; RFQ'dan çıkan demete, doğrusal sürüklenme tüpü (DTL) hızlandırıcısında 50-100 MeV'lik enerji kazandırılacaktır. Son aşamada ise, 50-100 MeV'lik bu demetin enerjisinin birleştirilmiş kaviteli sürüklenme tüpünde (CCDTL) 100-300 MeV'e çıkartılması planlanmaktadır (AKKUŞ vd. 2006). Hızlandırıcının 1 GeV'e ulaşması için ise, ya süperiletken kaviterler kullanılacak ya da normal kaviterlerin sayısı arttırılacaktır. Hızlandırıcıdan alınan proton demeti ile elde edilecek ikincil nötron ve müon demetleri sayesinde pek çok uygulama ve araştırma yapılmasına imkan sağlanacaktır (ÇALIŞKAN 2005, EKER 2005).

2. RFQ YAPISI

Lineer hızlandırıcılara baktığımızda, düşük enerjili mesafeler için standart olarak RFQ yapısı kullanılır. RFQ ve diğer yapılar, fiziksel anlamda üç temel görevi yerine getirir. Bunlar; demetin paketlenmesi, demetin odaklanması ve hızlandırılması şeklindedir. Paketleme işlevi, demet taşıma kanallarında Buncher kaviterler sayesinde gerçekleştirilir. Demetin odaklanması ise, kuadropol magnetler ile yapılır. Kuadropol magnetler, yapıya bağlı olarak ya kavitenin içine ya da dışına yerleştirilir. Hızlandırma, bir hızlandırıcının temel görevi olup elektromanyetik alanlarla RF kaviterlerinde yapılır. Genel olarak ise hızlandırma; elektrik alanlarla, odaklama ve bükme işlevleri ise; manyetik alanlarla gerçekleştirilir. Yoğun akıllı demetler elde etmek için, uzay-yük kuvvetlerini yenmek gerekir. Uzay-yük kuvvetleri, demeti dağıtıcı yönde etkileyerek emittansın büyümesine yol açan yüklü parçacıklar arasındaki elektrikselsel kuvvetlerdir. Uzay-yük kuvvetleri düşük enerjilerde daha şiddetlidir. Yüksek enerjilerdeki odaklama işlevi elektrikselsel kuvvetin üstesinden gelmektedir.

3. DTL DİZAYNI VE SİMULASYON ÇALIŞMALARI

Alvarez hızlandırıcısı olarak da bilinen DTL yapısı, RFQ'dan çıkan 3-5 MeV enerjili demeti 50-75 MeV arasındaki enerjilere kadar hızlandırmaktadır. Bir hızlandırıcı kurulmadan önce, bilgisayar ortamında simülasyon çalışmaları yapılarak optimum parametreler elde edilir. TAC proton hızlandırıcısında; kavite dizaynı için SUPERFISH (BILLEN & YOUNG 2005), magnet dizaynı için POISSON (BILLEN & YOUNG 2005) ve demet dinamiği çalışmaları için ise; PARMILA (TAKEDA 2005) programları kullanılmaktadır. DTL hızlandırıcısının dizaynında kullanılan geometrik yapı Şekil 1'de verilmiştir.

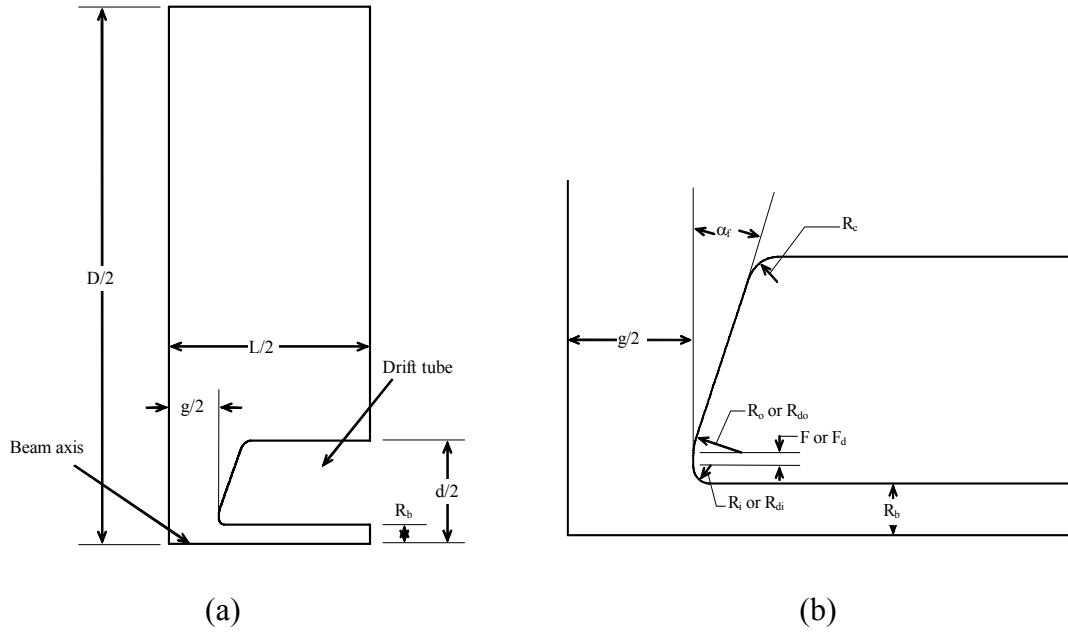


Şekil 1. DTL hızlandırıcısının geometrik yapısı

DTL hızlandırıcısı, tank veya kavitelerden oluşur. Her bir kavite ise, hücrelerden oluşur. Kuadropol magnetler kavitelerin içinde olup, demete voltaj uygulandıktan hemen sonra kuadropol magnet ile odaklanır. Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi hücre kavramı; kuadropol magnetin ortasından başlayıp, bir sonraki kuadropol magnetin ortasına kadar süren kısımdır.

3.1. SUPERFISH programı ile kavite tasarımı

Los Alamos Ulusal laboratuvarında geliştirilen ve oldukça kapsamlı olan SUPERFISH kodları, yarım hücrenin kurulumunu yapar. Bir DTL hızlandırıcısının dizaynını yapmak istiyorsak, DTLfish programını veya bir RFQ tasarlamak istiyorsak, RFQfish programını kullanmalıyız. Benzer şekilde; CCDTLfish, CCLfish ve SCfish programları da ilgili yapıların dizaynında kullanılır (BILLEN & YOUNG 2005). DTLfish programına ait bir input dosyasında kullanılacak parametreler, yarım hücrenin geometrik şeklini belirlemektedir ve bu değerler aşağıdaki şekilde görülmektedir.

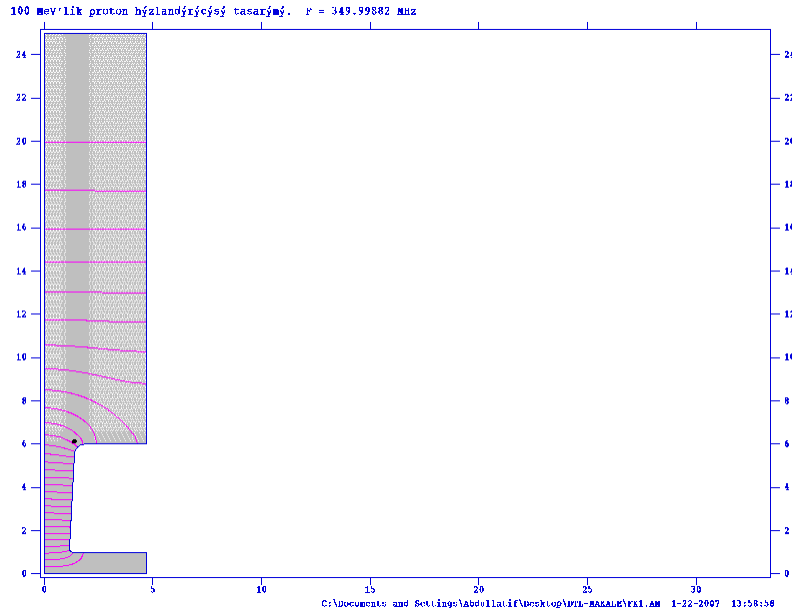


Şekil 2. DTL hızlandırıcısına ait yarım hücrenin geometrik yapısı

TAC proton hızlandırıcısının DTL kısmına ait şu an için önerilen parametreler Tablo 1.'de ve bu parametreler kullanılarak yapılan simülasyon sonucu da Şekil 2.'de verilmiştir. Tablo 1.'deki parametrisasyon kullanıldığında, yarım hücredeki elektrik alan deseninin istenene oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 1. DTL hızlandırıcısının dizayn parametreleri

Parametre	Değer
Rf frekansı	350 MHz
Kavite çapı (D)	50 cm
Sürüklenme uzay çapı(d)	12 cm
Dış yarıçap (R_c)	0.5 cm
İçburun yarıçap (R_i)	0.16 cm
Dışburun yarıçap (R_o)	0.48 cm
Delik çapı (R_b)	1.0 cm
Sürüklenme yüzey açısı (α_f)	3
Düzlem sürüklenme uzunluğu (F)	0.01 cm



Şekil 2. DTL hızlandırıcısına ait yarım hücrenin elektrik alan simülasyonu (kırmızı çizgiler, elektrik alan dağılımını göstermektedir)

3.2. PARMILA programı ile demet dinamiği simülasyonu

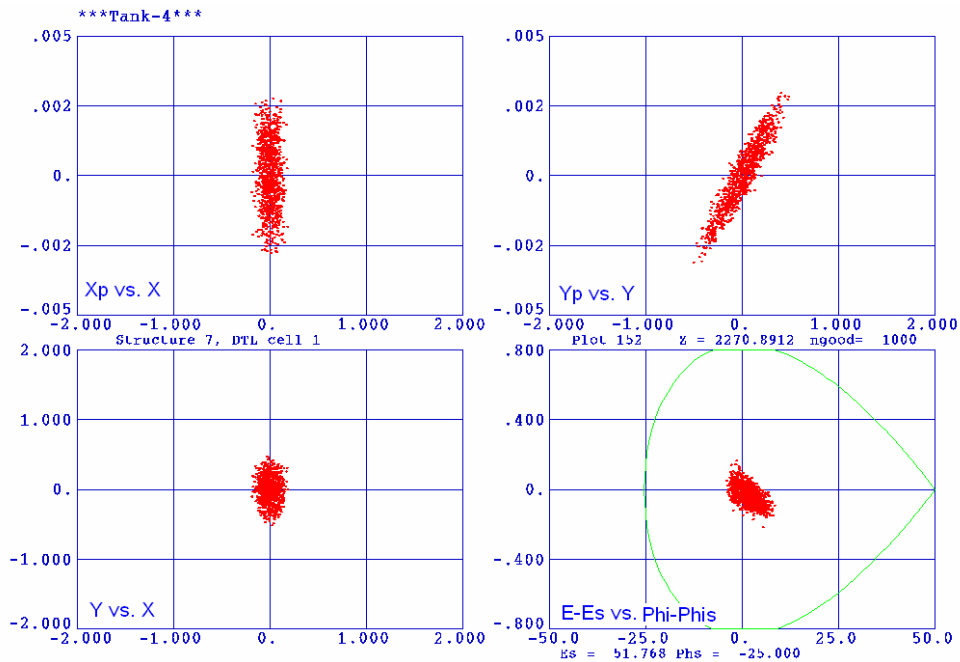
PARMILA; bir parçacık dinamiği simülasyon programı olup, lineer iyon hızlandırıcılarda faz ve radyal hareket anlamındaki “Phase and Radial Motion in Ion Linear Accelerators” İngilizce kelimelerin baş harflerinden oluşur. Programın genel olarak iki görevi vardır. Bunlardan birincisi, SUPERFISH programları yardımıyla bir Linac tasarlamaktır. İkinci görevi ise, parçacıkları linac’tan geçirerek ve space-charge gibi etkileri de hesaba katarak demet dinamiğini incelemektir. SUPERFISH program grubundan biriyle tasarlanan linac’tan elde edilen DATA’lar PARMILA programının çalışması için gerekli olan verilerdir ve tasarlanan kaviteyle ilgili temel bilgiyi taşır (TAKEDA 2005).

TAC proton hızlandırıcısı için bir önceki kesimde tasarlanan kaviteden elde edilen veriler kullanılacaktır. Bu çalışma, RFQ’dan elde edilecek 3 MeV’lik iyon demetini yaklaşık 76 MeV’e kadar hızlandıracak bir DTL yapısının simülasyonunu kapsamaktadır. 1 GeV’lik (ilk aşamada) TAC proton hızlandırıcısının 75 MeV’lik kısmına ışık tutacak olan DTL hızlandırıcısı, bu çalışma için 4 kavite’den oluşacaktır. Simülasyon sonuçlarına göre, bu özelliklere sahip DTL hızlandırıcısı 75 MeV’lik enerjiye yaklaşık olarak 32 metrede ulaşmaktadır. Tablo 2., bu çalışmanın detaylı sonuçlarını göstermektedir. Buradan gördüğümüz kadarıyla 75 MeV’e toplam 4 tank ve 174 hücrede ulaşılabilmiş ve bu esnada demet gücü 2.55 MW olmaktadır.

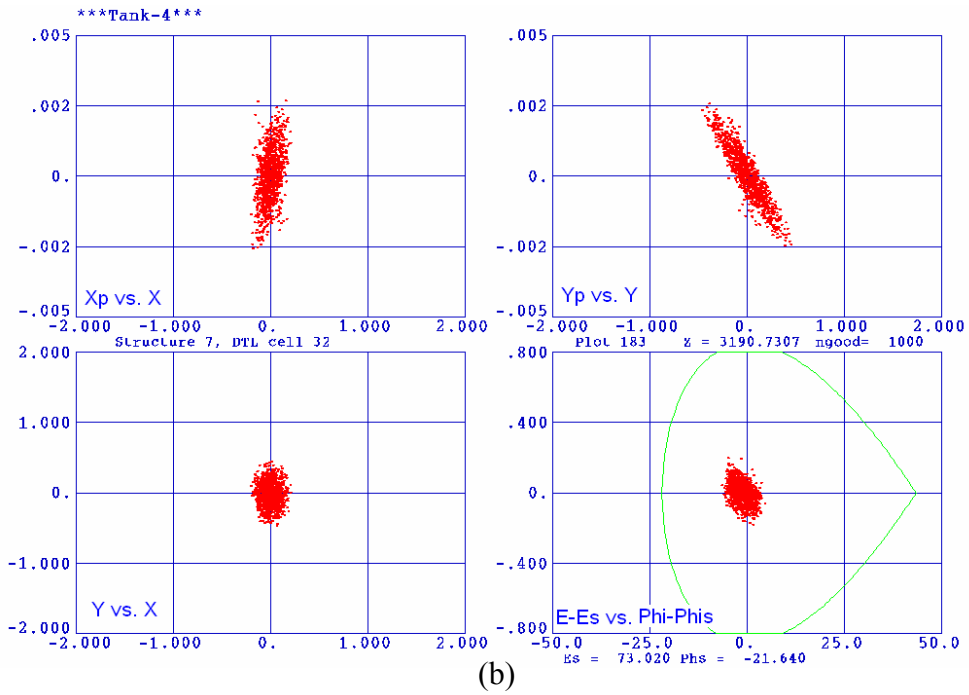
Tablo 2. Her bir tank için DTL parametreleri

	Tank-1	Tank-2	Tank-3	Tank-4
Enerji aralığı (MeV)	3~12.67	12.67~31.65	31.65~53.29	53.29~76.57
Hücre sayısı	66	42	34	32
Tank uzunluğu (cm)	628.2	745.01	841.65	966.76
Toplam güç (MW)	0.82	1.82	2.23	2.55
Quad.magnet uzun.(cm)	3.5	3.5	3.5	3.5
Quad. Gradyeni (kG/cm)	3.5	3.5	3.5	3.5
E_0 (MV/m)	1.00~3.51	3.1~3.6	3.6~3.6	3.6~3.6
Geçiş zamanı faktörü	0.77~0.81	0.81~0.77	0.77~0.72	0.71~0.66

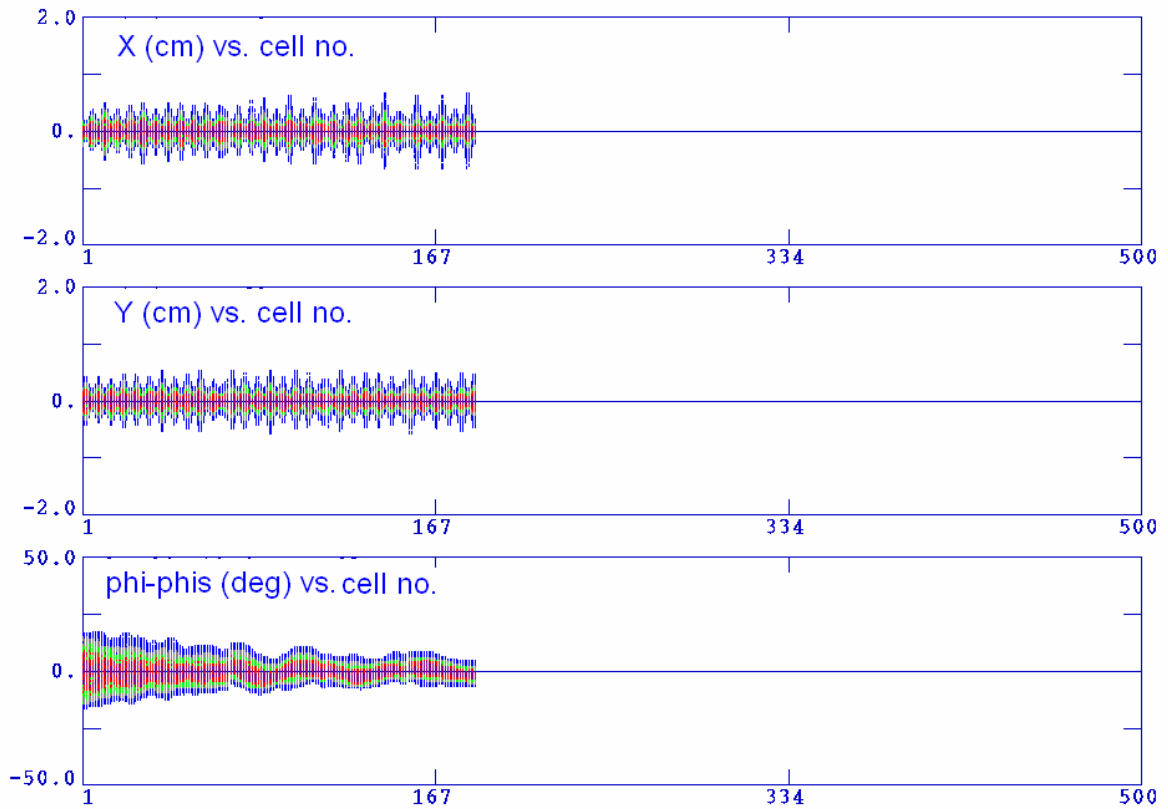
Demet dinamiği çalışmalarında, emittansın küçük olması yoğun ve kararlı bir demet anlamına gelmektedir. Demet, faz uzayında iki boyutlu bir gaussien dağılımı ile tanımlanır. $x-x'$ ve $y-y'$ gibi faz-uzay elipslerinin alanını tanımlamak için kullanılan emittans kavramının birimi mm.mrad'dır. Demetin gerçekleştireceği çeşitli saçılmalar ve difüzyon süreçleri, demetin kararlılığını bozmaktadır. Demet parçacıklarının vakum odasındaki atık gazlarla etkileşmesi sonucu oluşan saçılmalar emittansın büyümesine ve demet kayıplarına yol açmaktadır. Ayrıca; belirli bir emittans değerinde tutulmak istenen proton parçacıkları arasındaki coulomb itmesinden kaynaklanan ve uzay-yük kayması (etkisi) olarak bilinen saçılmalar da, emittansın büyümesine yol açacaktır. Emittansın takibi açısından, yapılan simülasyonun sonucu olarak Şekil 3., 4.tankın girişindeki (1.hücre) ve çıkışındaki (32.hücre) demete ait emittans grafiklerini, $x-x'$, $y-y'$, $x-y$ ve enerji-faz uzaylarında göstermektedir. Ayrıca x , y , x' , y' demet profilleri ile enerji dağılganlığı ve faz gelişimi grafikleri ise, Şekil 4. ve Şekil 5. de görülmektedir.



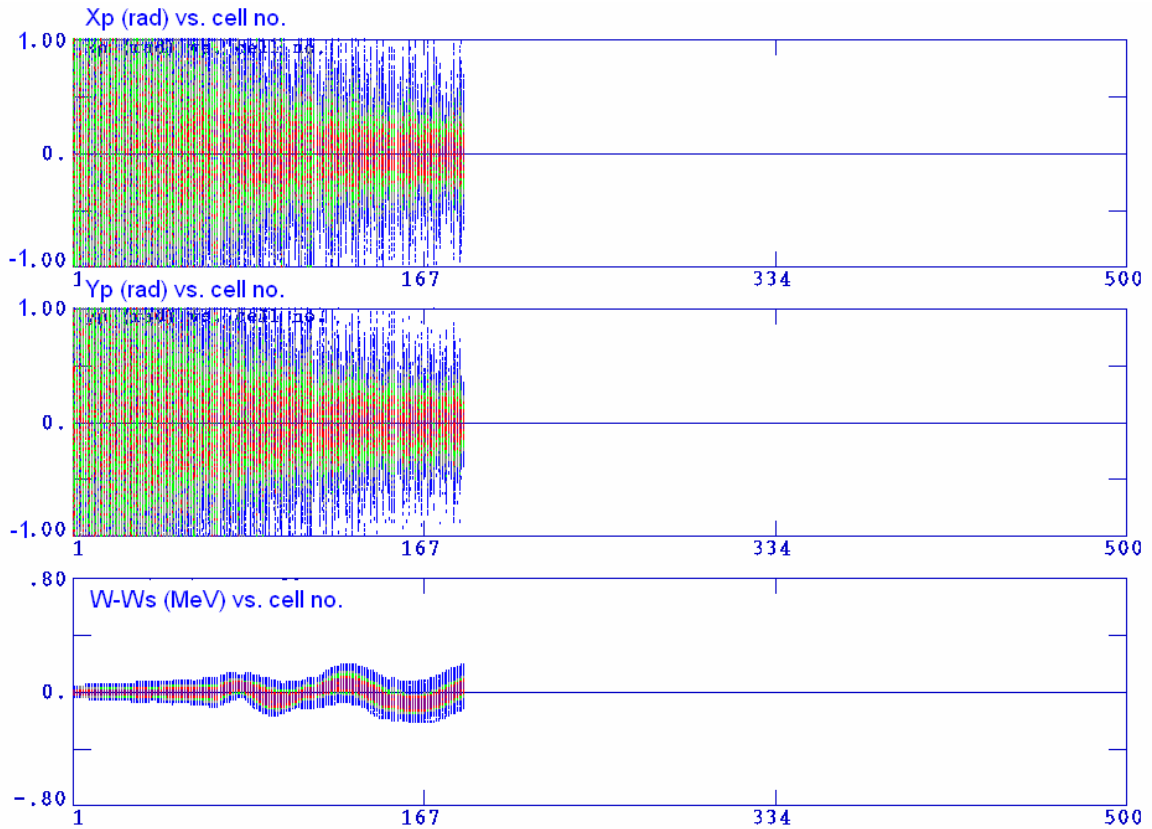
(a)



Şekil 3. 75 MeV'lik DTL hızlandırıcısı için 4.tankının giriş(a) ve çıkışlarındaki (b) emittans grafikleri.(p alt indisleri üs anlamına gelmektedir)



Şekil 4. DTL hızlandırıcısı boyunca; x-yönündeki (en üst), y-yönündeki (ortada) demet profilleri ve faz gelişimi (en alt) grafikleri.



Şekil 5. Hızlandırıcıdaki x' boyunca (en üst), y' boyunca (ortada) olan demet profilleri ve enerjinin dağılımı (W enerji, Ws enerji dağılımı anlamındadır)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; Tablo 1. ve Tablo 2.'deki parametreler kullanıldığı zaman, DTL'deki demetin yaklaşık 75 MeV'lik enerjiye kararlı bir şekilde ulaşabileceği açıkça görülmektedir. Dört DTL tankıyla hızlandırılan demetin enerji dalgalanması (hatasıyla birlikte) en fazla %2 mertebesinde kalmaktadır. İleriki çalışmalar için özellikle, 75-100 MeV'lik enerjilerde daha kararlı proton demetleri elde etmek amacıyla simülasyon çalışmalarına devam edilecektir.

Kullanılan simülasyon programında, hızlandırıcı boyunca olan her bir hücrenin emittans grafiğini görmek mümkündür. Dolayısıyla, demetin durumu rahatlıkla takip edilebilir. Bu çalışmada, demetin emittansının çok fazla büyümediği görülmektedir. Şekil 3.3.'deki 2.tanka ait grafikler bunu kanıtlamaktadır. Tankın giriş ve çıkışındaki emittans dağılımları hemen hemen aynı kalmaktadır hatta, enerji-faz diyagramları daha kararlı bir yapıya sahiptir. Sonuç olarak; demet, gerçek uzayda fazla bir dağılmaya uğramadan hızlandırılabilir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Devlet Planlama Teşkilatının DPT-2006K120470 nolu YUUP projesi

tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, bu çalışmanın ortaya çıkmasında önemli katkılarda bulunan değerli hocamız Prof. Dr. Saleh SULTANSOY'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- AKKUŞ B, BİLGİN PS, ÇALIŞKAN A, SULTANSOY S, YILMAZ M, 2006. Present Status of the TAC Proton Accelerator Proposal, 6. Int. Conf. of the Balkan Physics Union (BPU-06), Book of Abstracts, 689, 22-26 August, İstanbul, Turkey.
- BAYLAC M, et. al., 2006. Conceptual Design of the SPL II, CERN, Geneva.
- BILLEN JH, YOUNG LM, 2005. Poisson Superfish, Los Alamos National Laboratory document, LA-UR-96-1834 (Rev. June 28, 2005)
- ÇALIŞKAN A, 2005. Proton Hızlandırıcısı ve Müon Bölgesi Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2005, Ankara.
- DPT 2000. Parçacık Hızlandırıcıları; Türkiye'de Neler Yapılmalı, Proje Sonuç Raporu, DPT-97K-120420, Aralık-2000, Ankara.
- DPT 2005. Türk Hızlandırıcı Kompleksinin Genel Tasarımı, DPT2002K-120250, Proje Sonuç Raporu, Temmuz-2006, Ankara.
- EKER N, 2005. Proton Hızlandırıcısı ve Nötron Bölgesi Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz 2005, Ankara.
- SULTANSOY S, 1993. Regional Project for Elementary Particle Physics: Linac-Ring Type C-T-factory, Turkish Journal of Physics, 17(1993)591.
- SULTANSOY S, YILMAZ M, ÇAKIR O, ÇİFTÇİ A.K, RECEPOĞLU E, YAVAŞ Ö, 2005. The Status Turkic Accelerator Complex Proposal, Proceedings of Particle Accelerator Conference(PAC-05), 449-551, Knoxville, Tennessee, USA.
- TAKEDA H, 2005. Parmila, Los Alamos National Laboratory document, LA-UR-98-4478 (Rev. July 26, 2005).
- YAMAZAKI Y, MORI Y, MIZUMOTO M, YOKOMIZO H, JAERI/KEK JOINT ACCELERATOR TEAM, 2000. High-Intensity Proton Accelerators for the JAERI/KEK joint project, Proceedings of EPAC, 286-288, Austria.