

# Demirci-Pro: RFQ, İyon Kaynağı, DEDA ve Miknatis Tasarımı için Modüler Yazılım Çerçevesi

H. Kolenoglu (ESTU) \*



\* İşbirliği/Ortak Yazarlar: O. Çakır (AU) ,E. Çelebi (BU), H. Çetinkaya (KDU), G. Türemen (RATD), Z. Uysal (GU), G. Ünel (UCI)

Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayı, 29 Kasım 2020, Zoom Online

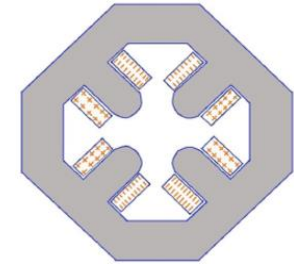
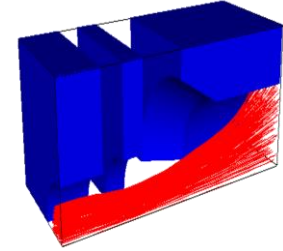
İstanbul Bilgi Üniversitesi - YEFAM



İstanbul Bilgi Üniversitesi  
YÜKSEK ENERJİ FİZİĞİ  
UYGULAMA VE  
ARAŞTIRMA MERKEZİ

# İçerik

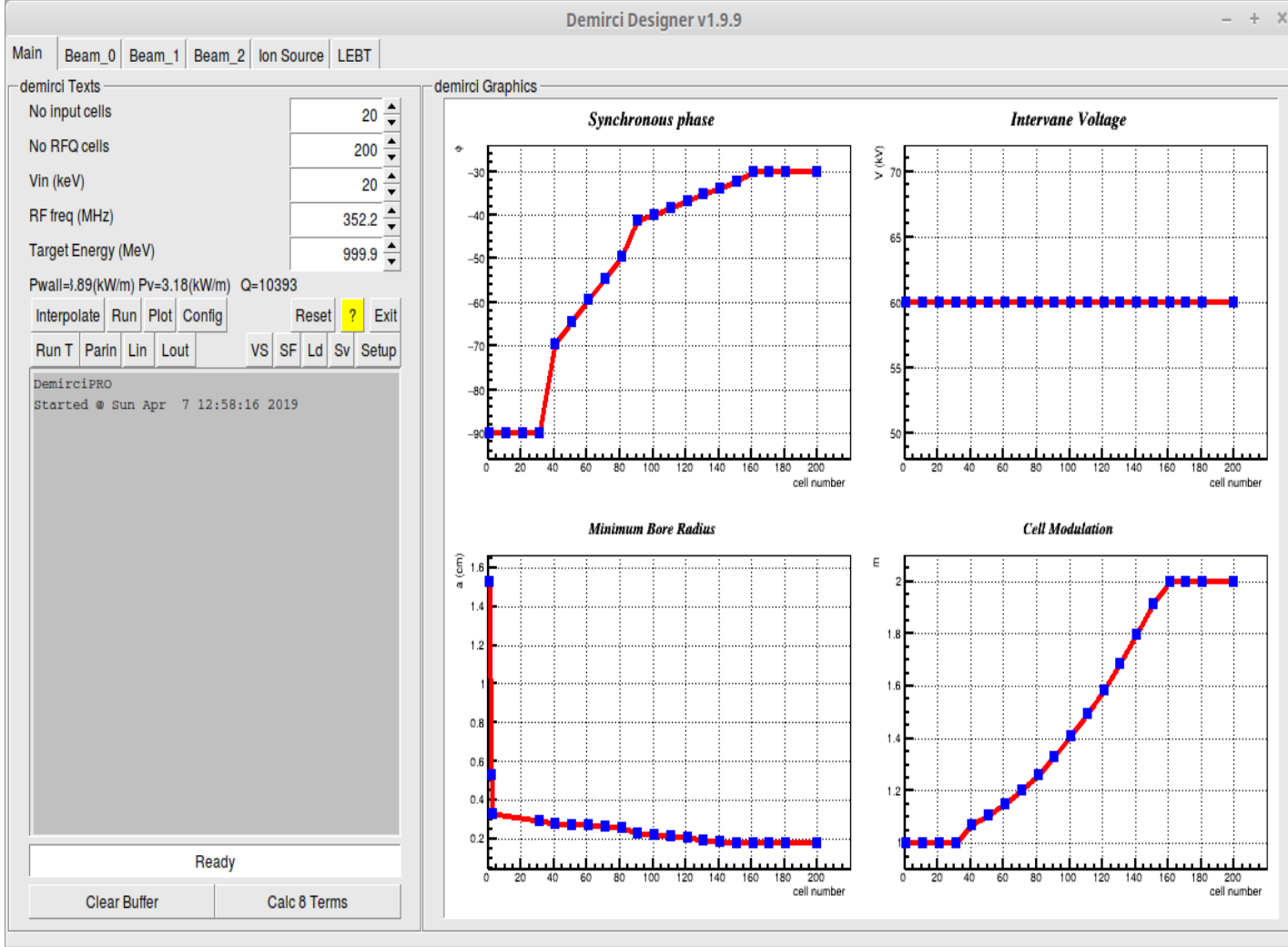
- RFQ Hızlandırıcı Tasarımı
- Demirci-Pro Yazılım Çerçevesi
- İyon Kaynağı
- Yayınım Ölçüm Sistemi
- Düşük Enerji Demet Aktarım Hattı
- Parametrik İyileştirme
- Mıknatıs Tasarımı ve Alan Dağılımı
- Sonuç ve Yorum



# RFQ Hızlandırıcı Tasarımı

- Hızlandırıcılar temel olarak, bir türden kararlı yüklü parçacıkları (elektron, proton, iyon, vb.) alıp elektrik alan kullanarak yüksek hızlara çıkaran ve manyetik alan kullanarak demet halinde bir arada ve yörüngede tutan makinelerdir. Radyofrekans dörktutuplu (RFQ) ise, çok amaçlı kullanım için proton veya iyon demetlerini hızlandırır.
- Demirci-Pro, bir RFQ ile iyon kaynağı ve düşük enerji demet aktarım hattı (mıknatıs tasarımı ve yayılım ölçümü sistemi içerir) tasarlamak için modüler grafik arayüzü sağlayan bir yazılım çerçevesidir.

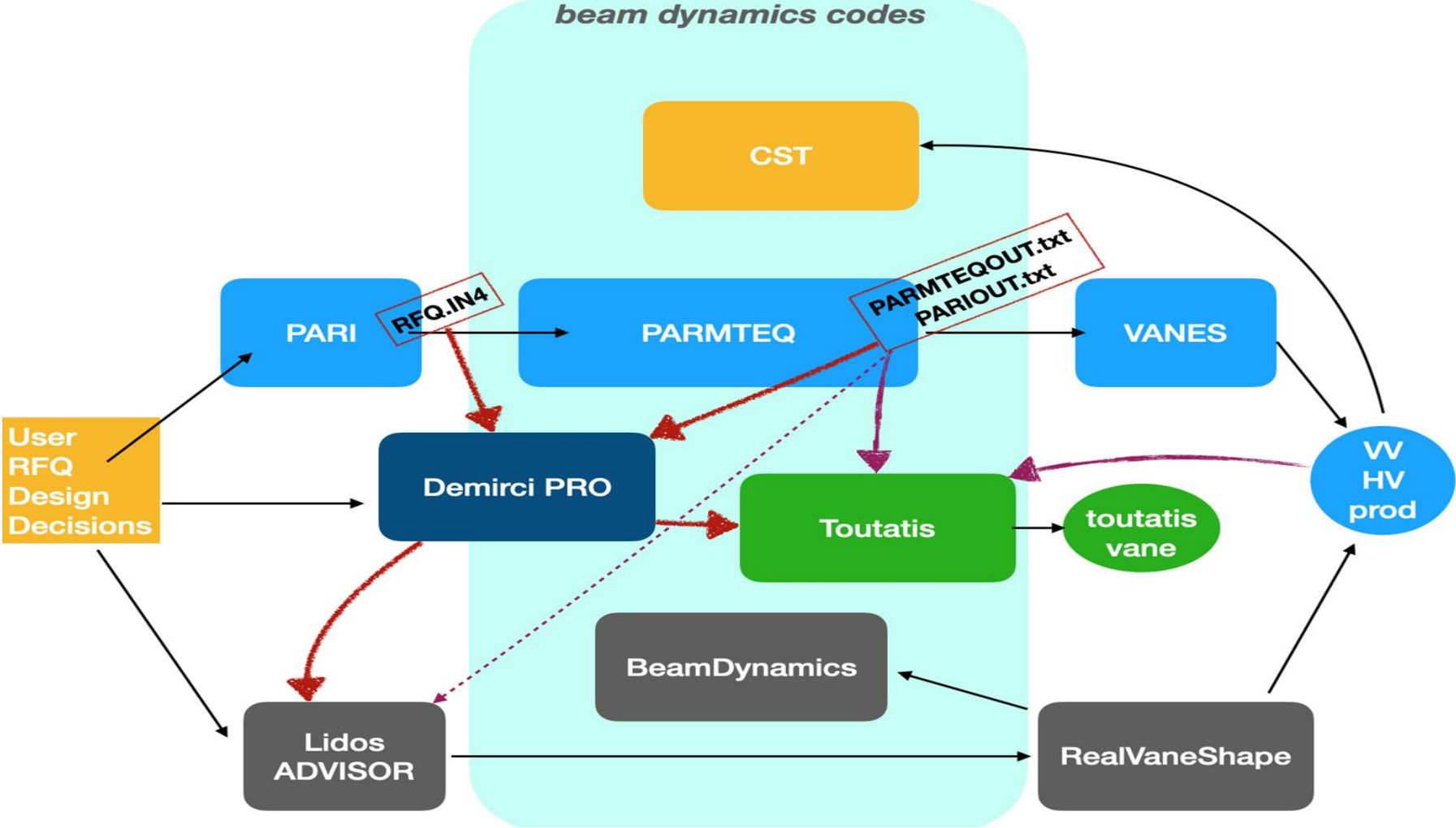
# Demirci-Pro Yazılım Çerçevesi



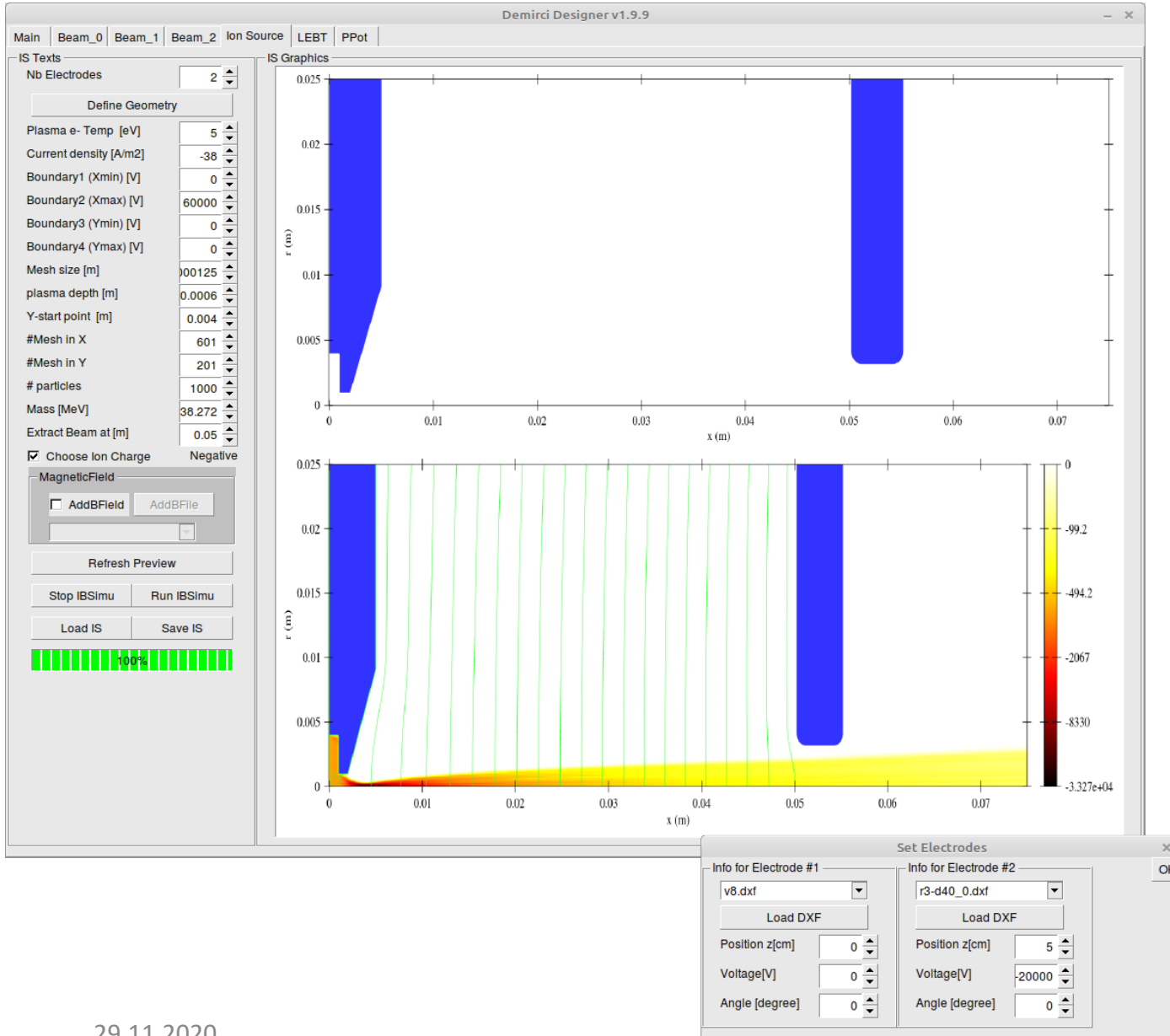
RFQ'ya girecek demetin enerjisi ve akımı, Kilpatrick değeri, RF frekansı ve RFQ uzunluğu belirlenmelidir.

Bu değerler belirlendikten sonra Demirci-Pro grafik ara yüzünde bir RFQ'yu tasarlamak için gereken 4 ana parametre (eşzamanlı faz ( $\phi$ ), kanatlar arası gerilim ( $V$ ), minimum açıklık yarıçapı ( $a$ ) ve hücre kiplenim ( $m$ )) için grafik üzerinde sürükleyerek yöntemiyle tasarım kolaylığı sağlamaktadır.

# Demirci-Pro'nun Diğer Programlarla Etkileşimi



# İyon Kaynağı



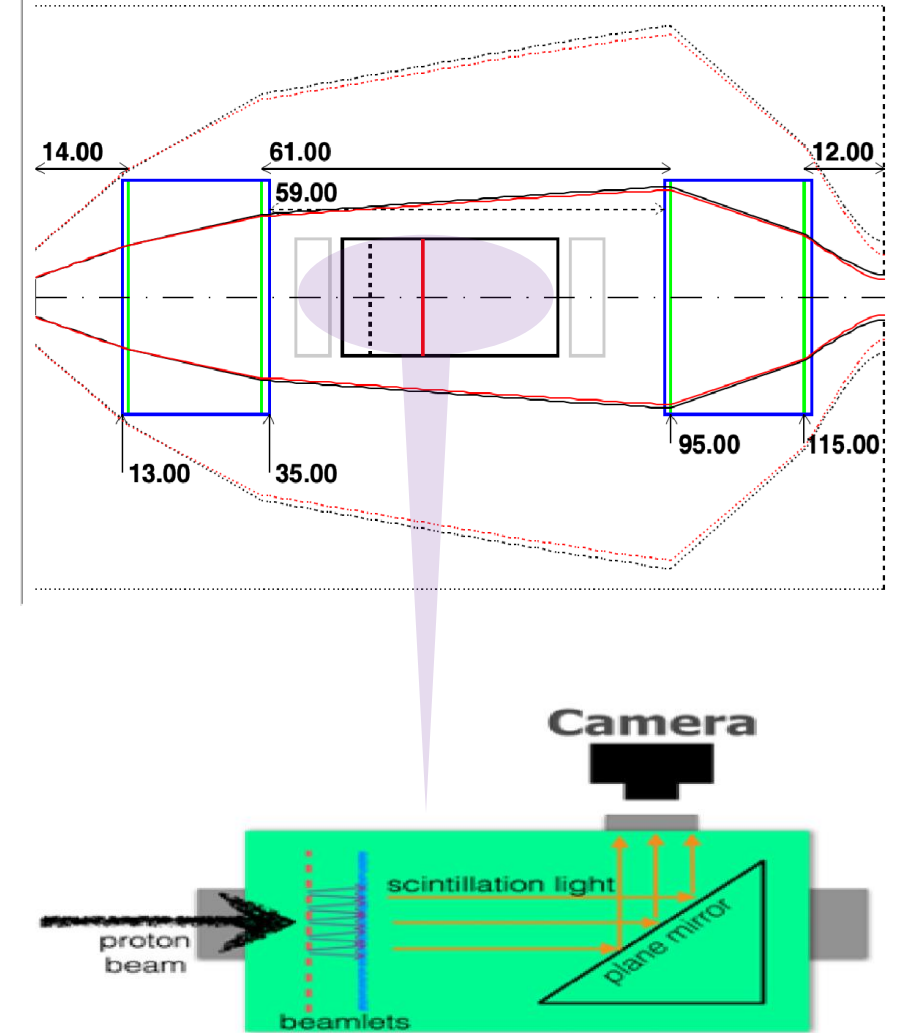
İyon kaynağı tasarımı ve simülasyonları, IBSimu paketine bir grafik arayüz aracılığıyla sağlanır. IBSimu paketi Demirci-Pro'ya entegredir. İyon kaynakları genellikle plazma odası ve vakum altında tutulan çekim elektrotları olmak üzere iki kısımdan oluşur.

İyonlar, gerekli parametrelerle iyon demeti oluşturmak için çekim bölgesine yüksek voltaj uygulanarak gaz dolu haznedan çekilebilir. İyon kaynağı kurulum parametrelerini tanımlamak, Demirci-Pro iyon demeti parametrelerin değerlerini ayarlamak için basit bir kullanıcı arayüzü kullanır.

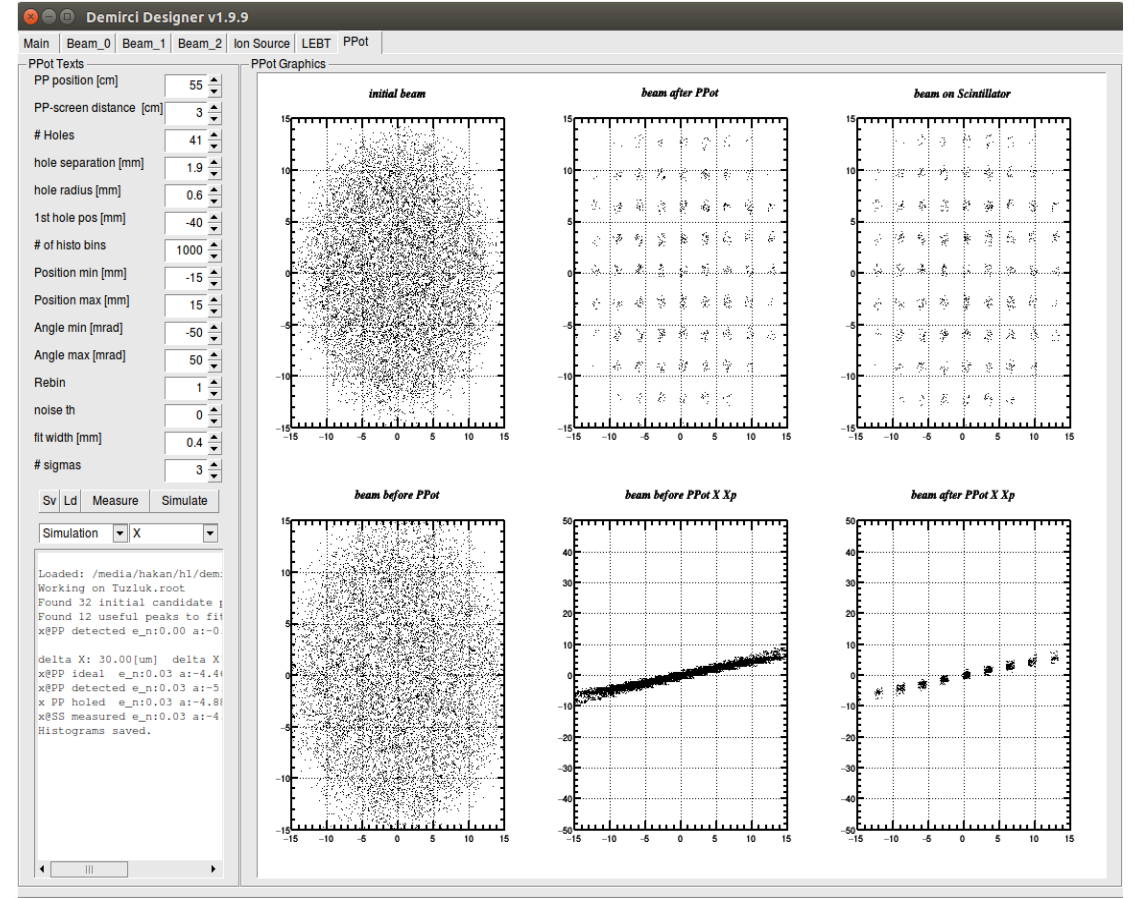
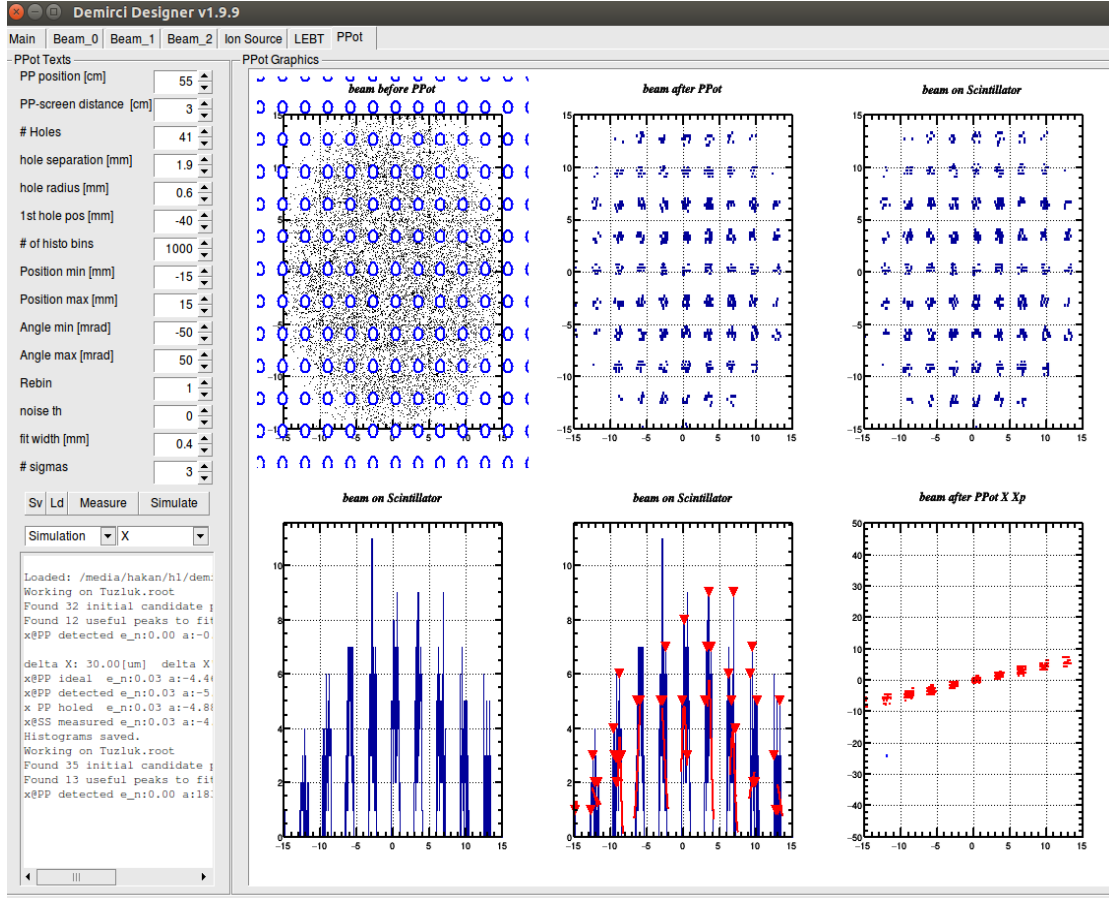
Önemli bileşenlerden biri plazma ve topraklama elektrotlarıdır bunların tasarımlarının şekli performans açısından gerçekten önemlidir. İyon kaynaklı elektrotlarının, dxf formatında Demirci-Pro'ya aktarıldıktan sonra voltajları, z konumları ve açıları aynı zamanda ayarlanabilir.

# Yayınım Ölçüm Sistemi

Gelen demet önce tuzluk plakasını ısıtır ve bu da yalnızca önceden tanımlanmış sayıda demetçik geçişine izin verir. Bu demetler daha sonra parıldayan bir ekrana çarpar ve ölçüm kutusunun içine ayna yerleştirilmiş bir düzlem kullanarak parıldığı bir gözetleme deliğinden gören bir kamera tarafından yakalanan ışığı yaymasına neden olur. Kamerada elde edilen resim, daha sonra demetçik parametrelerini belirlemek için analiz edilir.



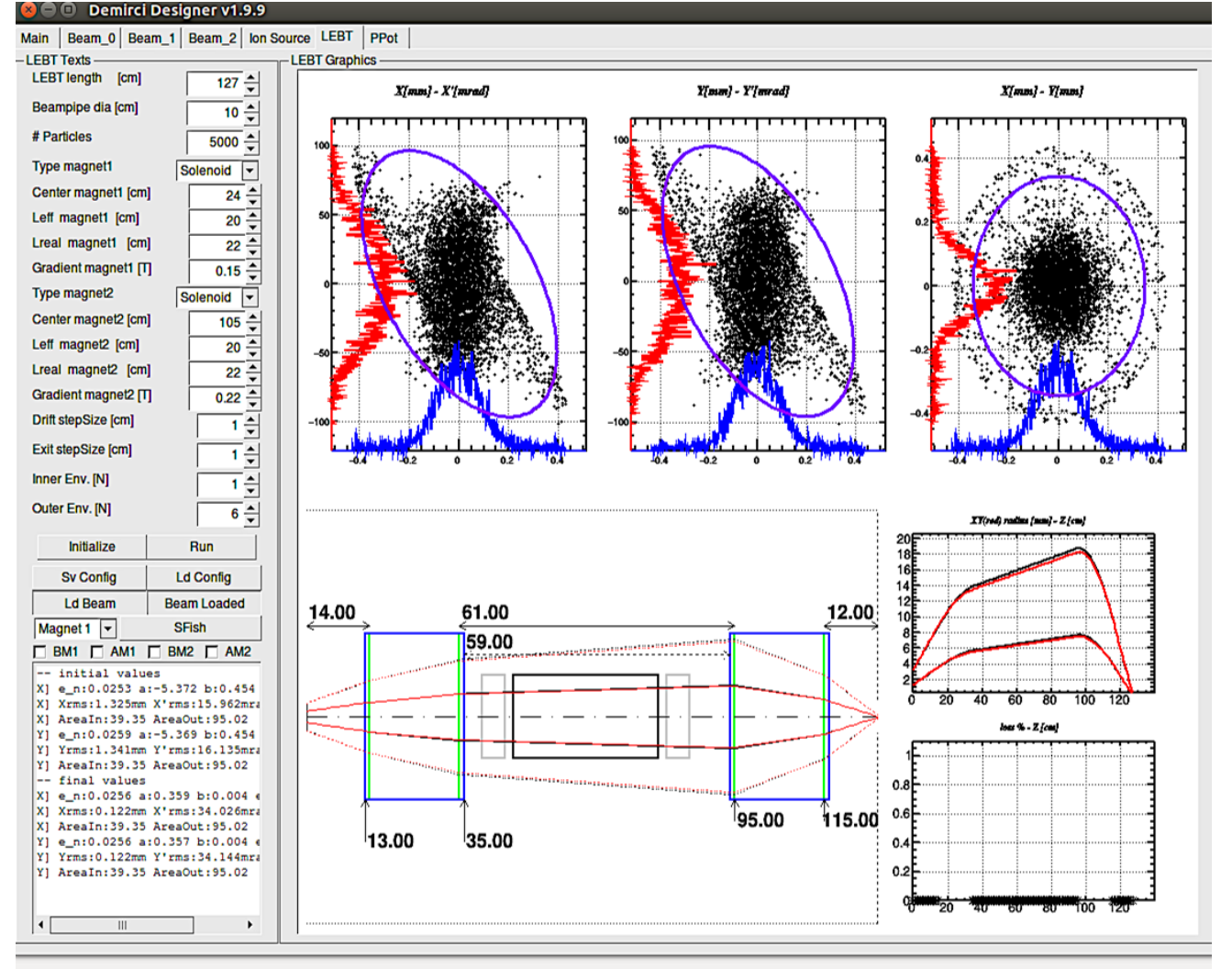
# Yayınım Tasarım ve Ölçüm



Demet yayılımı için tuzluk tasarımı ve ölçüm.

# Düşük Enerji Demet Aktarım Hattı

Düşük Enerjili Demet Aktarım (DEDA) hattı, iyon demetini iyon kaynağından hızlandırıcının bir sonraki aşamasına, genellikle RFQ aktarmak için kullanılır. İyon demetinin çapı ve yayımı RFQ ile eşleştirilmesi gerekir. Genellikle, yönlendirici mıknatıslar ve yayma ölçüm araçları gibi demet teşhis elemanları DEDA hattına yerleştirilir. DEDA hattındaki demeti daha yüksek taşıma verimliliği ile iyileştirmek için en az iki elektromanyetik mercek gereklidir.



# Parametrik İyileştirme

Demirci-Pro, CERN program kütüphanelerinden Minuit minimizasyon paketi ile uyumlu çalışacak şekilde hazırlanmıştır.

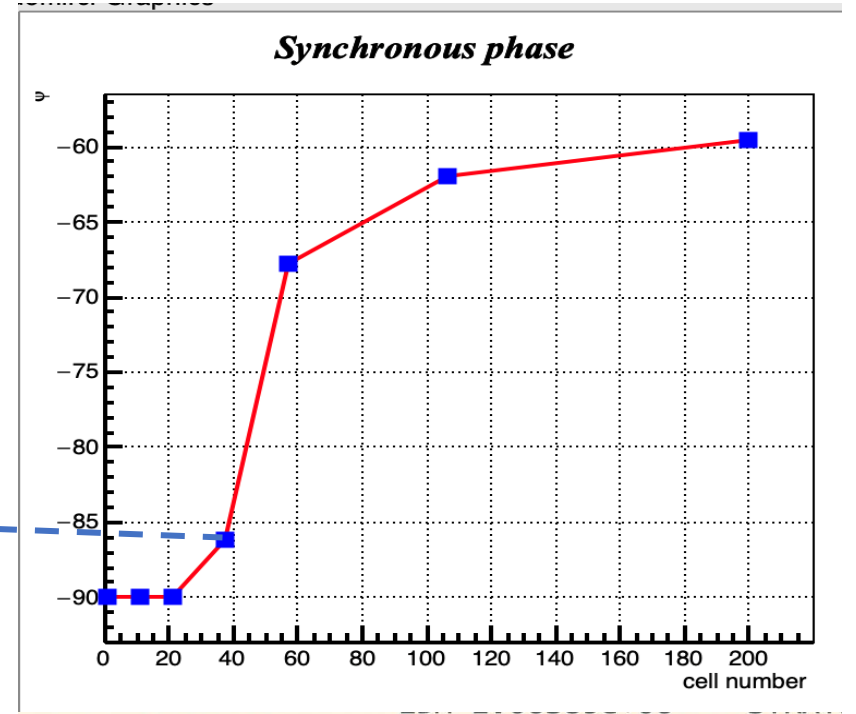
Demirci-Pro, ROOT'un TMinuit Sınıfını kullanır ve sabit kanat gerilimi (V) için birkaç (3x7) kare nokta (■) hücreye sahip tipik bir RFQ tasarımını gösterir. Diğer hücreler bunlarla eklentilidir.

Demirci-Pro, chi2'yi minimize etmek için bu 3 (m, a,  $\phi$ ) x7 parametreleri için en iyi değerleri otomatik olarak bulabilir.

$\chi^2 = (E - E_{\text{target}})^2 + (L - L_{\text{target}})^2$ ,  $KP < KP_{\text{max}}$  için

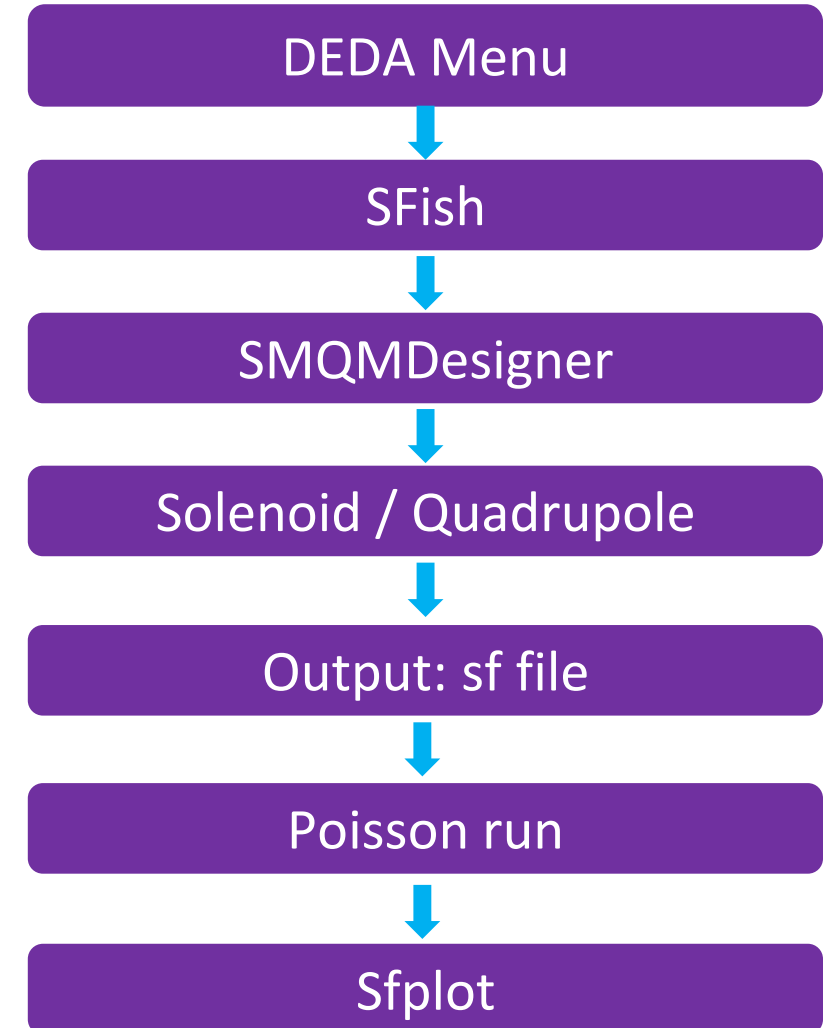
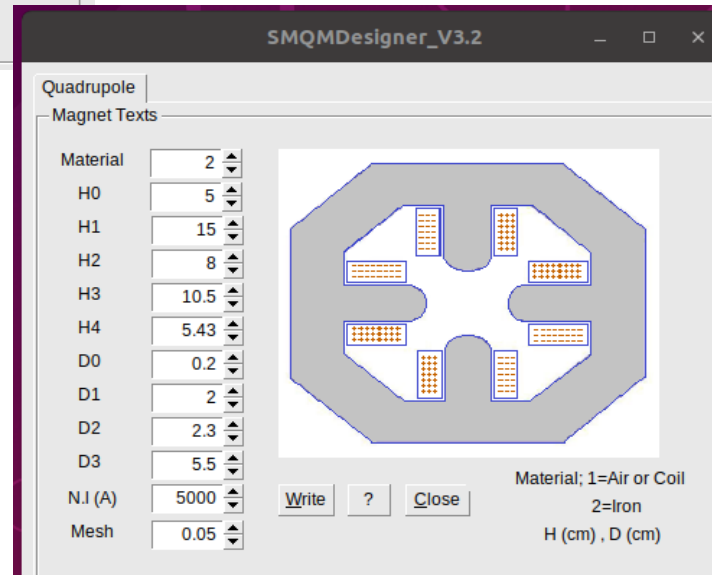
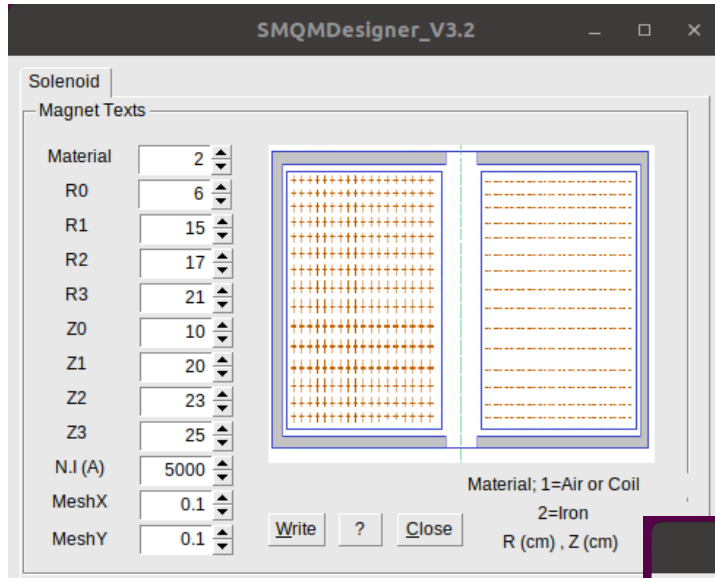
```
./demirciOptim.exe -t 2.0 -z 112
```

```
RFQ exit energy is: 2.00129 MeV, corr  
RFQ total length is: 1.13216 m. cor  
Ps(kW/m):56.94795 W/cm/Quad:142.36989
```

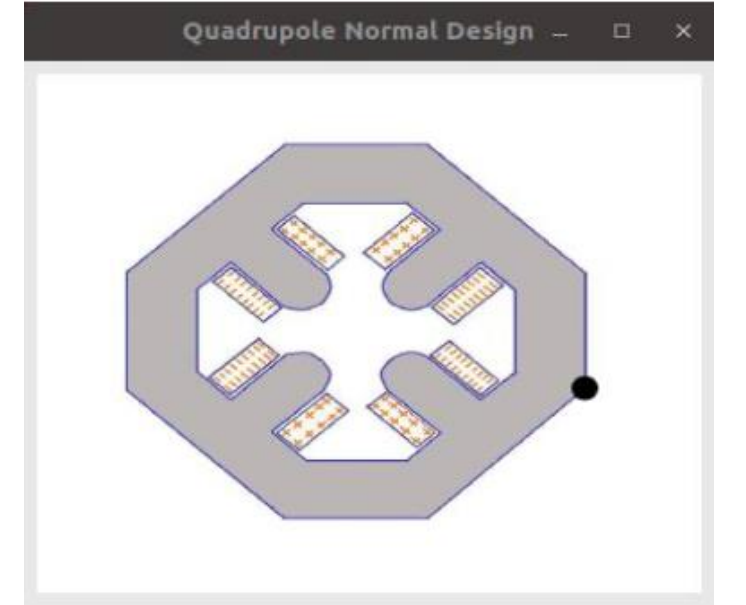
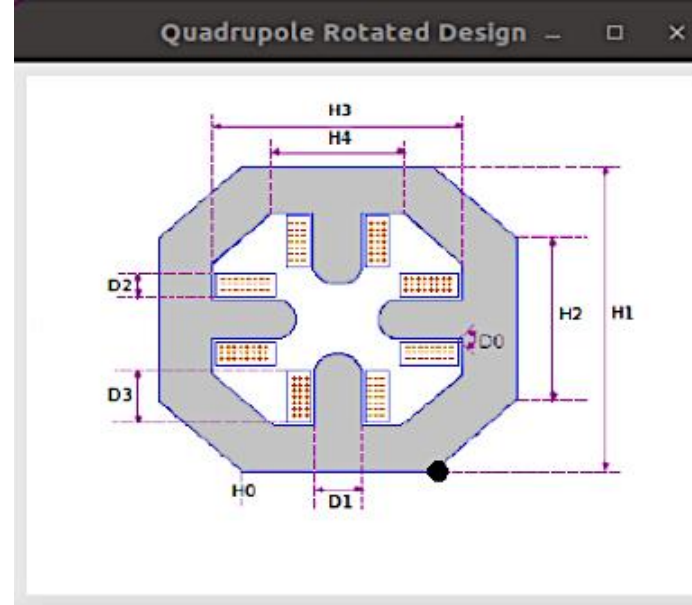
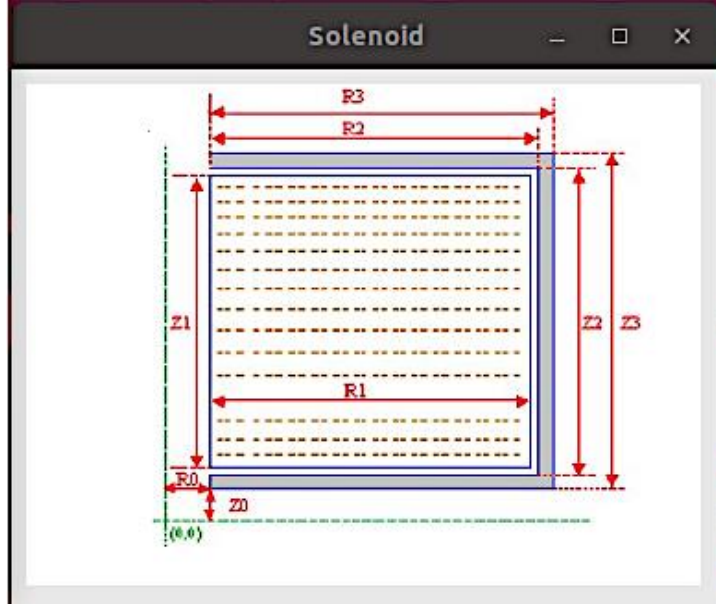


EXT NO.	PARAMETER NAME	VALUE	PARABOLIC ERROR
1	A1	1.41626e-01	1.36988e-06
2	A2	8.26733e-02	3.48900e-06
3	A3	1.49538e-01	1.88282e-06
4	A4	5.07709e-02	2.36102e-06
5	A5	6.50810e-02	4.34491e-06
6	A6	5.34074e-02	1.78429e-06
7	A7	1.39574e-01	6.09012e-07
8	m1	1.09607e+00	6.81087e-06
9	m2	1.49781e+00	1.32449e-05
10	m3	1.02106e+00	5.69256e-05
11	m4	2.19027e+00	3.23057e-05
12	m5	1.80589e+00	1.11223e-04
13	m6	1.59313e+00	1.00517e-04
14	m7	2.99458e+00	1.27174e-04
15	f1	-8.98322e+01	8.12716e-05
16	f2	-5.98458e+01	5.96581e-04
17	f3	-3.11863e+01	1.46920e-03
18	f4	-1.52524e+01	7.44362e-04
19	f5	-2.99999e+01	2.21752e-05
20	f6	-1.53493e+01	8.24609e-04
21	f7	-2.97642e+01	7.36707e-04

# Magnatis Tasarımı (SMQMDesigner)



# Geometrik Tasarım



Ekranda mıknatısların fiziksel boyutlarını belirleyebildiğimiz için bobinlerin üzerinden geçecek akımı ve malzemeyi de belirleyebiliriz. Simetrik alan dağılımı elde etmek için bu bobinler aynıdır ancak tasarıma göre akış yönleri farklılık gösterir.

# Tasarım Girdi / Çıktı Dosyaları

Geometri girdisi



SMQMDesigner



Sarmal / Dörtkutup



Çıktı: sf dosyası

```
...
void MyMainFrame::write_param_quad(){
    ofstream fileout1 ;  ofstream fileout2 ;
    fileout1.open("quadrupolrx.sf"); fileout2.open("quadrupolnx.sf");
...
    /* default geometry parameters (in cm)
    double h_0= 5.0 ;  double h_1= 15.0 ;
    double h_2= 8.0 ;  double h_3= 10.5 ;
    double h_4= 5.43 ;  double d_0= 0.2 ;
    double d_1= 2.0 ;  double d_2= 2.3 ;  double d_3= 5.5 ;
    */
...
    fileout1 << "QuadrupoleR Magnet" << endl;
fileout1 << "&reg kprob=0, " << "mode=-1, " << "kmax=1000, lmax=1000, "
<< "mat=" << mat1 << ", " << "icylin=0, " << endl;
fileout1 << "nbslo=0, " << "nbsup=0, " << "nbslf=0, " << "nbsrt=0, "
<< "dx=" << mesh << ", " << "dy=" << mesh << " &" << endl;
    fileout1 << "\n";
// writing points for frame
    fileout1 << "&po x=" << -h_1-h_0 << ", y=" << -h_1-h_0 << " &" << endl;
    fileout1 << "&po x=" << h_1+h_0 << ", y=" << -h_1-h_0 << " &" << endl;
    fileout1 << "&po x=" << h_1+h_0 << ", y=" << h_1+h_0 << " &" << endl;
    fileout1 << "&po x=" << -h_1-h_0 << ", y=" << h_1+h_0 << " &" << endl;
    fileout1 << "&po x=" << -h_1-h_0 << ", y=" << -h_1-h_0 << " &" << endl;
    fileout1 << "\n";
... }
```

```
...
void MyMainFrame::write_param_sole(){
    ofstream fileout ;
    fileout.open("solenoidx.sf");
...
    /* default geometry parameters (length in cm)
    double r_0= 6.0 ;  double r_1= 15.0 ;
    double r_2= 17.0 ;  double r_3= 21.0 ;
    double z_0= 10.0 ;  double z_1= 20.0 ;
    double z_2= 23.0 ;  double z_3= 25.0 ;
    */
fileout << "Solenoid Magnet" << endl;
fileout << "&reg kprob=0, " << "mode=-1, " << "kmax=500, lmax=500, "
<< "icylin=1, " << "mat=" << mat1 << ", " << endl;
fileout << "nbslo=0, " << "nbsup=0, " << "nbslf=0, " << "nbsrt=0, "
<< "dx=" << meshx << ", " << "dy=" << meshy << " &" << endl;
    fileout << "\n";
// writing points for frame
    fileout << "&po x=" << r_0-r_0 << ", y=" << z_0-z_0 << " &" << endl;
    fileout << "&po x=" << r_3+r_3 << ", y=" << z_0-z_0 << " &" << endl;
    fileout << "&po x=" << r_3+r_3 << ", y=" << z_3+z_3 << " &" << endl;
    fileout << "&po x=" << r_0-r_0 << ", y=" << z_3+z_3 << " &" << endl;
    fileout << "&po x=" << r_0-r_0 << ", y=" << z_0-z_0 << " &" << endl;
    fileout << "\n";
... }
```

# Poisson/Superfish İle Etkileşim

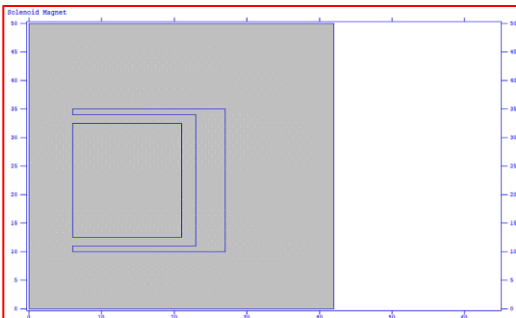
```
Solenoid Magnet
&reg kprob=0, mode=-1, kmax=500,
lmax=500, icylin=1, mat=1,
nbslo=0, nbsup=0, nbslf=0, nbsrt=0,
dx=0.1, dy=0.1 &
```

```
&po x=0, y=0 &
&po x=42, y=0 &
&po x=42, y=50 &
&po x=0, y=50 &
&po x=0, y=0 &
```

```
&reg mat=2, &
&po x=6, y=10 &
&po x=27, y=10 &
&po x=27, y=35 &
&po x=6, y=35 &
&po x=6, y=34 &
&po x=23, y=34 &
&po x=23, y=11 &
&po x=6, y=11 &
&po x=6, y=10 &
```

```
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=6, y=12.5 &
&po x=21, y=12.5 &
&po x=21, y=32.5 &
&po x=6, y=32.5 &
&po x=6, y=12.5 &
```

 solenoidx

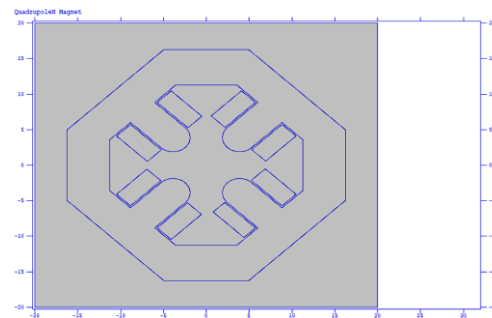


```
QuadrupoleR Magnet
&reg kprob=0, mode=-1, kmax=1000, lmax=1000,
mat=1, icylin=0, nbslo=0, nbsup=0, nbslf=0, nbsrt=0,
dx=0.05, dy=0.05 &
```

```
&po x=-20, y=-20 &
&po x=20, y=-20 &
&po x=20, y=20 &
&po x=-20, y=20 &
&po x=-20, y=-20 &
```

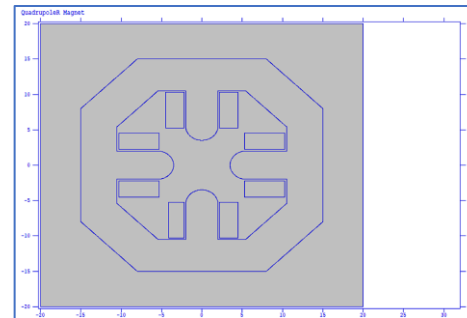
```
&reg mat=2, &
&po x=-8, y=-15 &
&po x=8, y=-15 &
&po x=15, y=-8 &
&po x=15, y=8 &
&po x=8, y=15 &
&po x=-8, y=15 &
&po x=-15, y=8 &
&po x=-15, y=-8 &
&po x=-8, y=-15 &
```

 quadrupolnx



```
&reg mat=1, &
&po x=-5.43, y=-10.5 &
&po x=-10.5, y=-5.43 &
&po x=-10.5, y=-2 &
&po x=-5.5, y=-2 &
&po nt=2, x0=-5.5, y0=0, r=2, theta=90. &
&po x=-10.5, y=2 &
&po x=-5.43, y=10.5 &
&po x=-2, y=10.5 &
&po x=-2, y=5.5 &
&po nt=2, x0=0, y0=5.5, r=2, theta=360. &
&po x=2, y=10.5 &
&po x=5.43, y=10.5 &
&po x=10.5, y=5.43 &
&po x=10.5, y=2 &
&po x=5.5, y=2 &
&po nt=2, x0=5.5, y0=0, r=2, theta=-90. &
&po x=10.5, y=-2 &
&po x=5.43, y=-10.5 &
&po x=2, y=-10.5 &
&po x=2, y=-5.5 &
&po nt=2, x0=0, y0=-5.5, r=2, theta=180. &
&po x=-2, y=-10.5 &
&po x=-5.43, y=-10.5 &
```

 quadrupolrx



```
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=-10.3, y=-2.2 &
&po x=-5.3, y=-2.2 &
&po x=-5.3, y=-4.5 &
&po x=-10.3, y=-4.5 &
&po x=-10.3, y=-2.2 &
```

```
&reg mat=1, cur=-5000, &
&po x=-10.3, y=2.2 &
&po x=-5.3, y=2.2 &
&po x=-5.3, y=4.5 &
&po x=-10.3, y=4.5 &
&po x=-10.3, y=2.2 &
```

```
&reg mat=1, cur=-5000, &
&po x=10.3, y=-2.2 &
&po x=5.3, y=-2.2 &
&po x=5.3, y=-4.5 &
&po x=10.3, y=-4.5 &
&po x=10.3, y=-2.2 &
```

```
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=10.3, y=2.2 &
&po x=5.3, y=2.2 &
&po x=5.3, y=4.5 &
&po x=10.3, y=4.5 &
&po x=10.3, y=2.2 &
```

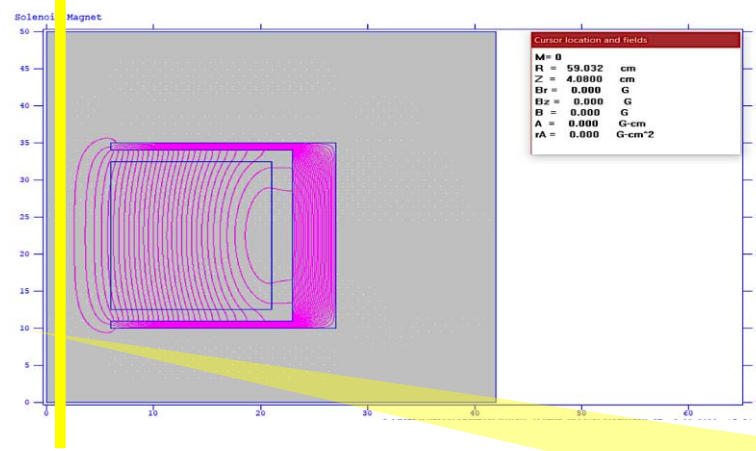
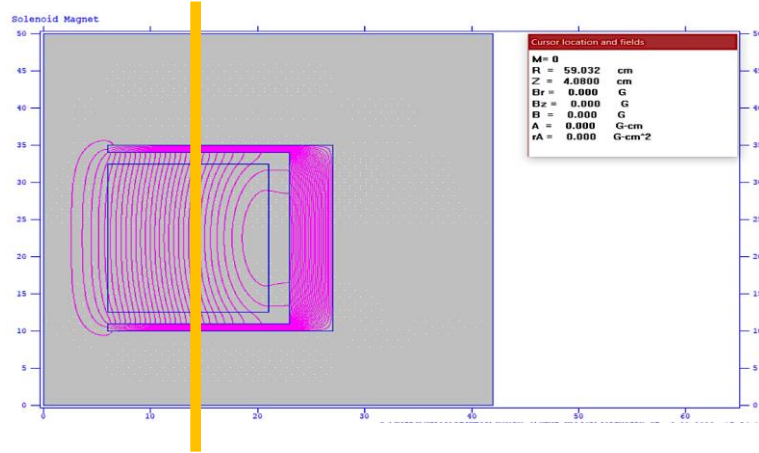
```
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=-4.1, y=-5.23 &
&po x=-4.1, y=-10.3 &
&po x=-2.2, y=-10.3 &
&po x=-2.2, y=-5.23 &
&po x=-4.1, y=-5.23 &
```

```
&reg mat=1, cur=-5000, &
&po x=2.2, y=5.23 &
&po x=2.2, y=10.3 &
&po x=4.5, y=10.3 &
&po x=4.5, y=5.23 &
&po x=2.2, y=5.23 &
```

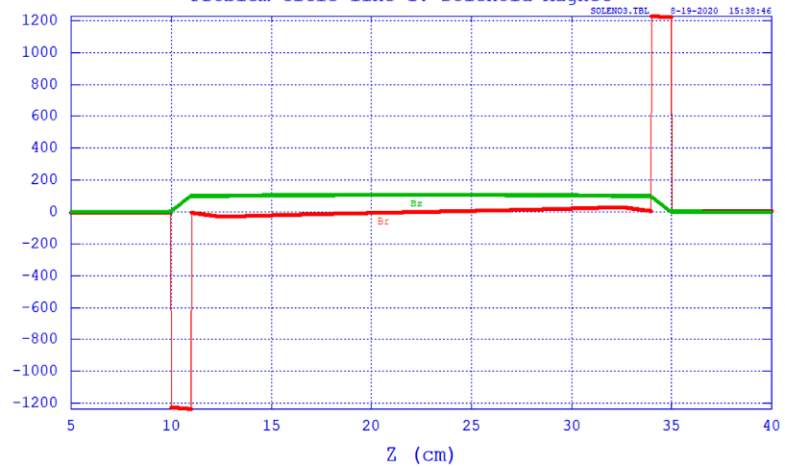
```
&reg mat=1, cur=-5000, &
&po x=-4.5, y=5.23 &
&po x=-4.5, y=10.3 &
&po x=-2.2, y=10.3 &
&po x=-2.2, y=5.23 &
&po x=-4.5, y=5.23 &
```

```
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=2.2, y=10.3 &
&po x=2.2, y=5.23 &
&po x=4.5, y=5.23 &
&po x=4.5, y=10.3 &
&po x=2.2, y=10.3 &
```

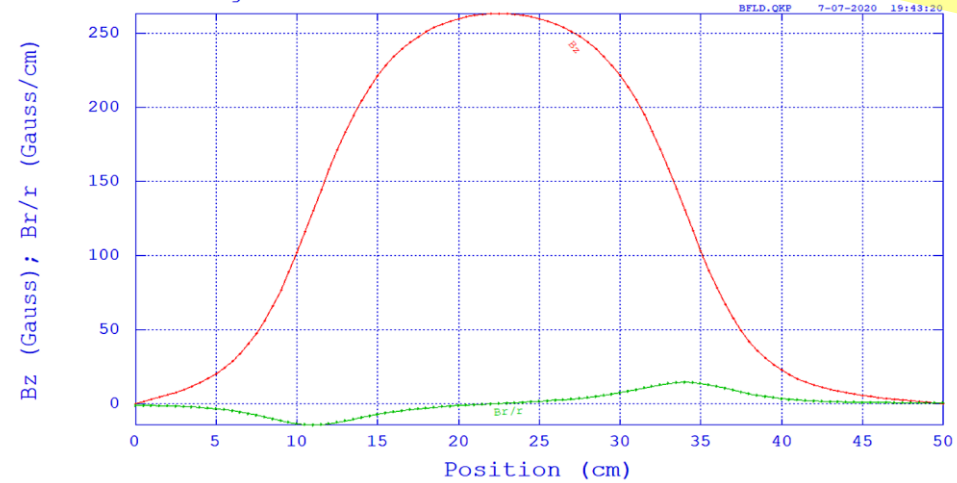
# Manyetik Alan Dağılımı (Sarmal Mıknatıs)



Magnetic field data from file SOLENOIDX.SF  
Problem title line 1: Solenoid Magnet

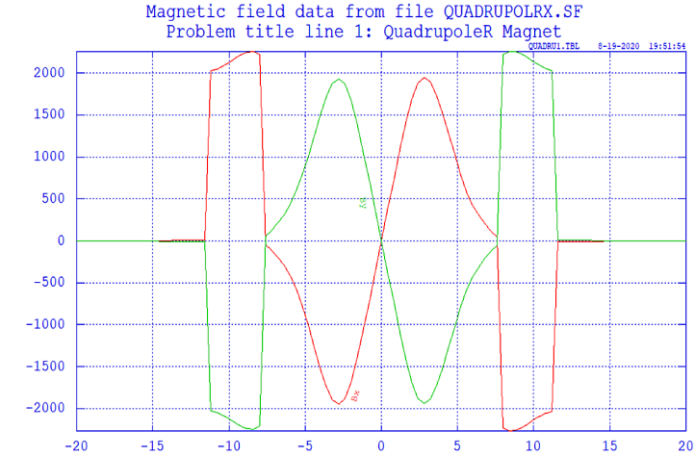
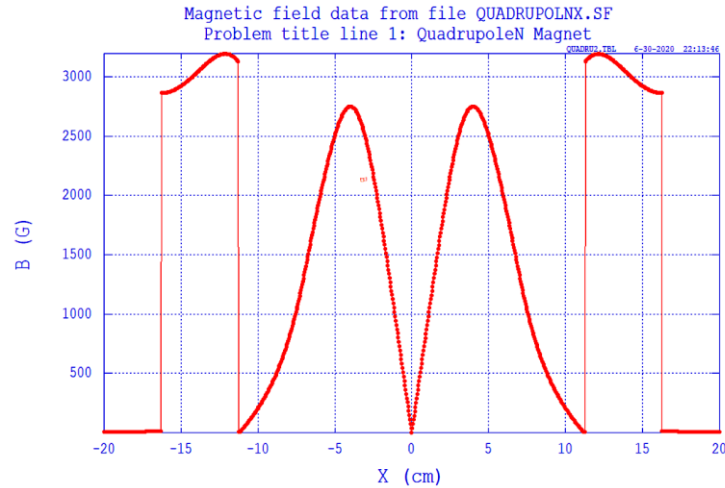
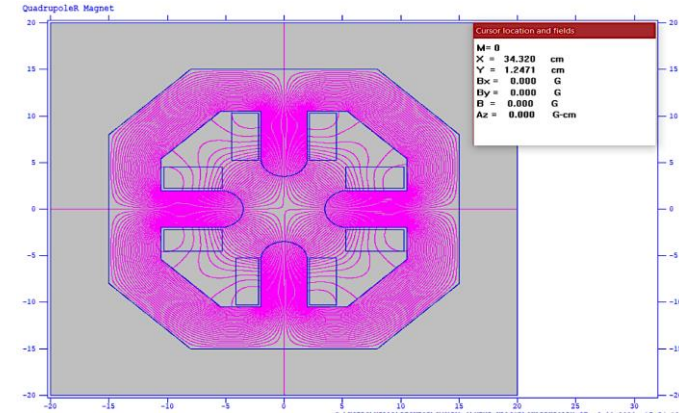
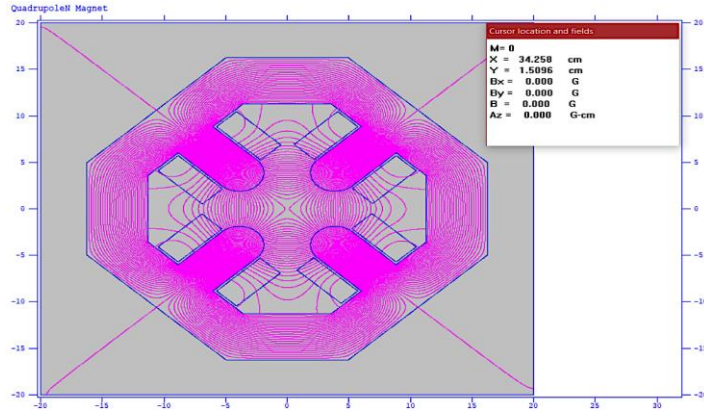


Solenoid Magnet



Demetin  
geçtiği  
bölge !

# Manyetik Alan Dağılımı (Dört kutuplu Miknatis)



Döndürülmüş dört kutuplu miknatis (Skew Quadrupole) tasarımının saat yönünün tersi yönde 45° döndürülerek elde edilen bu tasarım, normal tasarım olarak adlandırıldı ve demet odaklanması için bir alternatif olarak hazırlanmıştır.

# Sonuç ve Yorum

- Bu çalışmada, Demirci-Pro yazılımındaki güncel gelişmeler sunulmuştur. Burada RFQ tasarımı ve iyileştirme ile eklentiler olarak DEDA tasarımı, geliştirilmiş IBSimu kütüphanesi kullanılarak iyon kaynağı tasarımı, yayınım ölçüm sistemi tasarımı ve simülasyonunun eklenmesi ve mıknatıs tasarımları sonuçları gösterilmiştir. Geliştirme aşamasında, bir RFQ üretilecek ve EM ölçümleri Demirci-Pro tahminleriyle karşılaştırılacaktır. Gerçek üretim geometrisini okuyabilecek, üretim ile montaj hatalarının etkisini hesaplayabilecek ve genel iyileştirme yapabilecek bir yazılım amaçlanmıştır.
- Burada SMQMDesigner, Demirci-Pro yazılımı çerçevesinde bir arayüz olarak sarmal ve dört kutuplu tasarım için esnek bir tasarım kodu sağlar. Hem öngörülen RFQ prototipi ile birlikte hem de diğer laboratuvar uygulamalarında kullanılacak sarmal ve dört kutuplu mıknatısların tasarım sonuçları sunulmuştur.

# Teşekkürler

Demirci-Pro 117F143 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.  
Destegi için TUBİTAK a teşekkür ederiz.

# Kaynaklar

- Vinit Kumar, American Journal of Physics 77 (8), August 2009.
- B. Yasatekin, G. Turemen and G. Unel, Computer Physics Communications, Volume 192, 108-113, 2015.
- E. Celebi, G. Turemen, O. Cakir, G. Unel, Recent Developments in Demirci for RFQ Design, 9th International Particle Accelerator Conference IPAC2018, Vancouver, BC, Canada, doi:10.18429/JACoW-IPAC2018-THPAK018 (2018).
- K. Halbach and R. F. Holsinger, Particle Accelerators 7 (1976) 213-222.
- Rene Brun and Fons Rademakers, Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A 389 (1997) 81-86.

Nós agradecemos      ありがとうございます  
Tapadh leat  
Go raibn maith agat      Thank you      Tack      Miigwechiwi  
Đakujem      Merci      اركش  
Cảm ơn bạn      DIOLCH  
GRATIAS TIBI      Teşekkür      Salamat  
Gracias      Ederim      þakka þér fyrir  
Hatur Nuhun      Ευχαριστώ      ขอบขอบคุณ  
Спасибо  
Faleminderit      הדות      Danke      Grazie      ZIKOMO  
Mèsi      Kiitos  
धन्यवाद      謝謝      고맙습니다      tusen takk      Meegwetch