

**DÜŞÜK ENERJİLİ DEMET AKTARIMINDA MANYETİK ALAN HESABI VE
MAGNET TASARIMI**

Hilal KOLENOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Yüksek Enerji ve Plazma Anabilim Dalı

Fizik Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil GAMSIZKAN

(İkinci Danışman: Prof. Dr. Orhan ÇAKIR)

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ocak 2021

Bu tez çalışması TÜBİTAK1001 tarafından kabul edilen 117F143 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

ÖZET

DÜŞÜK ENERJİLİ DEMET AKTARIMINDA MANYETİK ALAN HESABI VE MAGNET TASARIMI

Hilal KOLENOĞLU

Yüksek Enerji ve Plazma Anabilim Dalı

Fizik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ocak 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halil GAMSIZKAN

(İkinci Danışman: Prof. Dr. Orhan ÇAKIR)

Hızlandırıcılar tasarım ve kullanım amacına göre farklılık gösterdiği gibi bu hızlandırıcılarda kullanılan mıknatıslar da amaçlarına göre tasarımsal farklılıklar göstermektedir. Bu tez çalışmasında, düşük enerji demet aktarımında kullanılan sarmal ve dört kutuplu mıknatı Accelerator Physics, Solenoid Magnet, Quadrupole Magnet, Sextupole Magnet, Poisson/Superfish Accelerator Physics, Solenoid Magnet, Quadrupole Magnet, Sextupole Magnet, Poisson/Superfish s tasarımı için Poisson/Superfish program paketine girdi dosyası hazırlayan SMQMDesigner program arayüzü geliştirilmiştir. Poisson/Superfish yazılımı mıknatıs tasarımında kenar bölgelerindeki alan bozukluklarını da dikkate alarak gerçekçi bir tasarım yapmayı sağlayan bir program topluluğudur. Geliştirilen bu SMQMDesigner ile seçilen mıknatısın fiziksel ölçüleri, sarımlar üzerinden geçen akım değerleri ve bu değerler ile elde edilen manyetik alan dağılımının hem grafikleri hem de 2B tasarımı elde edilebilir. Sarmal ve dört kutuplu tasarımlarına ek olarak hızlandırıcılarda kullanılan altı kutuplu mıknatıs tasarımı için de Poisson/Superfish girdi dosyaları hazırlanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Hızlandırıcı Fiziği, Sarmal Mıknatıs, Dört Kutuplu Mıknatıs, Altı Kutuplu Mıknatıs, Poisson/Superfish.

ABSTRACT

MAGNETIC FIELD CALCULATION AND MAGNET DESIGN IN LOW ENERGY BEAM TRANSPORT

Hilal KOLENOĞLU

Department of High Energy and Plasma

Programme in Physics

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, January 2021

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Halil GAMSIZKAN

(Co-Supervisor: Prof. Dr. Orhan ÇAKIR)

As accelerators differ according to their design and purpose of use, the magnets used in these accelerators also differ in design according to their purpose. In this thesis, the SMQMDesigner program interface, which prepares an input file for the Poisson / Superfish program package, has been developed for solenoid and quadrupole magnet design used in low energy beam transport. Poisson / Superfish software is a program collection that enables a realistic design by taking into account the field distortions in the edge regions in magnet design. With this developed program, both the physical measurements of the selected magnet, the current values passing through the windings, and the graphs of the magnetic field distribution obtained with these values and the 2D design can be obtained. In addition to solenoid and quadrupole designs, Poisson / Superfish input files were prepared for sextupole magnet design used in accelerators.

Keywords: Accelerator Physics, Solenoid Magnet, Quadrupole Magnet, Sextupole Magnet, Poisson/Superfish.

TEŞEKKÜR

Başta bu çalışmayı bana öneren eş danışmanım Prof.Dr. Orhan ÇAKIR’a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışma sırasında sadece bilgi birikimini paylaşmakla kalmayıp yeri geldiğinde bir arkadaş gibi manevi desteğini esirgememiştir. Ayrıca bilimsel araştırma ve bilim insanı olabilme konusunda kendisinden çok şey öğrendim. Fikir paylaşımı ve tartışmalarla teze katkısı bulunan danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Halil GAMSIZKAN’a ayrıca teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında 2B tasarım kısmında desteğini üzerimden hiç eksik etmeyen Araş.Gör.Dr. Hakan ÇETİNKAYA ve 3B tasarım kısmında beni destekleyen kız kardeşim İrem KOLENOĞLU’na ayrıca teşekkür ederim. Projedeki çalışma arkadaşlarıma da teşekkür ederim. Son olarak aileme, bana verdikleri manevi ve maddi destekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma, Yüksek Lisans bursiyeri olarak çalıştığım TÜBİTAK 117F143 no.lu “Demirci-Pro: Hafif İyonlar İçin Radyofrekans Dört kutuplusu Tabanlı Doğrusal Hızlandırıcı Tasarımı ve Benzetimi” isimli proje tarafından desteklenmiştir.

Hilal KOLENOĞLU

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Hilal KOLENOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.2. Parçacık Hızlandırıcıları	2
1.2.1. Hızlandırıcılarda Kullanılan Mıknatıslar	5
1.2.2. Yay üzerindeki mıknatıslar	6
1.2.3. Yerleştirme ve son odaklama mıknatısları	7
1.2.4. Düzeltme mıknatısları.....	7
1.2.5. Dedektör mıknatısları	8
1.2.6. Mıknatısların düşük enerjili demet aktarımında kullanımı.....	8
1.3. SMQMDesigner Programı	8
1.3.1. Sarmal mıknatıs ve dörtkutuplu mıknatıs tasarımı.....	11
1.3.2. Altı kutup mıknatıs tasarımı	11
2. KURAMSAL TEMELLER	13
2.1. Sarmal Mıknatıs	18
2.2. Dört Kutup Mıknatıs	21
2.3. Altı Kutup Mıknatıs.....	23
3. MIKNATIS TASARIMI	28
3.1. Tasarım Parametreleri	29
3.1.1. Sarmal mıknatıs parametreleri	29

3.1.2. Dört kutuplu mıknatıs parametreleri.....	30
3.1.3. Altı kutuplu mıknatıs parametreleri	31
3.2. Programın Kod Kısmı	31
3.2.1. Sarmal mıknatıs.....	31
3.2.2. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs	33
3.2.3. Normal dört kutuplu mıknatıs	35
3.2.4. Altı kutuplu mıknatıs	37
3.3. Programın Çıktı Dosyaları.....	38
3.3.1. Sarmal mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları.....	39
3.3.2. Dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları.....	42
3.3.2.1. Normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları.....	42
3.3.2.2. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları.....	46
3.3.3. Altı kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları	50
4. BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMALAR.....	54
4.1. Sarmal Mıknatıs	54
4.2. Dört Kutuplu Mıknatıs	68
4.2.1. Grafik karşılaştırmalar.....	73
4.2.1.1. Karşılaştırma-1:	73
4.2.1.2. Karşılaştırma-2:	82
4.3. Altı Kutuplu Mıknatıs	93
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	97
KAYNAKÇA.....	98
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1. Tüm kuarklar spin-yarım fermiyonlardır ($s = 1/2$), kesirli bir yüke ($-1/3$ veya $2/3$) sahiptir ve baryon sayısı $B = 1/3$ 'tür. Her kuark, aynı kütlede ancak zıt elektrik yüküne ve baryon sayısına sahip bir antikuarka sahiptir.....	2
--	---



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Linak 2750 keV Cockcroft-Walton jeneratör kaynak ve hızlandırıcı sistemi	3
Şekil 1.2. Ernest Lawrence, sabit frekanslı döndürgeç.....	4
Şekil 1.3. Sarmal mıknatıs (solda), dört kutuplu mıknatıs (sağda).....	6
Şekil 1.4. Altı kutuplu mıknatıs (solda), sekiz kutuplu mıknatıs (sağda).....	6
Şekil 1.5. Yay üzerindeki mıknatıslar, kırmızılar: bükme mıknatısları; maviler: dört kutuplu; sarı rekli olanları ise altı kutuplu mıknatıslardır. Yay üzerindeki beyaz dikey ve yatay tüpler ışığı eş zamanlayıcı radyasyon monitörüne yönlendirir	7
Şekil 1.6. İki kutuplu mıknatıstan on kutuplu mıknatısa kadar manyetik alan dağılımı (döndürülmüş şekilleriyle birlikte)	8
Şekil 1.7. Demirci-Pro yazılımında, manyetik DEDA hattı ekran görüntüsü (Çakır, 2020)	10
Şekil 2.1. Akım taşıyan telden geçen I akımının oluşturduğu manyetik alan	13
Şekil 2.2. I akımı taşıyan tel	14
Şekil 2.3. I akımını taşıyan sonsuz tel nedeniyle oluşan manyetik alan çizgileri.....	15
Şekil 2.4. Sabit bir akım taşıyan dairesel halka nedeniyle oluşan manyetik alan	15
Şekil 2.5. z / R 'nin bir fonksiyonu olarak manyetik alan oranı, B_z/B_0	18
Şekil 2.6. Bir sarmal mıknatısın manyetik alan çizgileri.....	19
Şekil 2.7. Sonlu sarmal mıknatıs	20
Şekil 2.8. $I=10R$ (solda) ve $I=20R$ (sağda) için sonlu bir sarmal mıknatısın manyetik alanı	21
Şekil 2.9. Normal dört kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)	22
Şekil 2.10. Döndürülmüş (skew) dört kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)	23
Şekil 2.11. Dört kutuplu mıknatıs için kromatik etki	23
Şekil 2.12. Bir altı kutuplu mıknatısın kullanılarak kromatik etkinin düzeltilmesi	24
Şekil 2.13. Normal altı kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)	26

Şekil 2.14. Döndürülmüş (skew) altı kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)	27
Şekil 3.1. Programın sarmal mıknatıs (solenoid) seçim menüsü.....	29
Şekil 3.2. Programın dört kutuplu (quadrupole) seçim menüsü	30
Şekil 3.3. Sarmal mıknatıs tasarımı için konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda)	33
Şekil 3.4. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs dış tasarımı için konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda).....	35
Şekil 3.5. Altı kutuplu mıknatıs dış tasarımı ve bir bobinin konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda)	38
Şekil 3.6. Sarmal mıknatıs için oluşturulan .sf dosyası Automesh ile çalıştırılır	39
Şekil 3.7. Sarmal mıknatıs tasarımında kod içerisinde silindirik simetri kullanıldığı için şeklin yarısı gösterilir	40
Şekil 3.8. Sarmal mıknatısın Poisson programı ile çözüm yapması için Run Poisson komutu seçilir	40
Şekil 3.9. Sarmal mıknatısın tasarımı üzerinde manyetik alan dağılımı	41
Şekil 3.10. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Bx ve By bileşenlerinin konuma (Z) bağlı grafiği	41
Şekil 3.11. Sarmal mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın yarısının dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın yarısının üst görüntüsü (sağda).....	42
Şekil 3.12. Normal dört kutuplu mıknatısın oluşturulan .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır	43
Şekil 3.13. Normal dört kutuplu mıknatısın geometrisi	43
Şekil 3.14. Normal dört kutuplu mıknatısın tasarımı için Poisson çözümünün başlatılması	44
Şekil 3.15. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi	44
Şekil 3.16. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alanın büyüklüğünün B konuma (X) bağlı grafiği	45
Şekil 3.17. Normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda)	46

Şekil 3.18. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır.....	46
Şekil 3.19. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın geometrisi.....	47
Şekil 3.20. Döndürülmüş dört kutuplu tasarım için Poisson çözümünün başlatılması	47
Şekil 3.21. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi	48
Şekil 3.22. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alanın B_x ve B_y bileşenlerinin konuma (Position) bağlı grafiği	49
Şekil 3.23. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda).....	50
Şekil 3.24. Atlı kutuplu mıknatısın .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır.....	50
Şekil 3.25. Altı kutuplu mıknatıs tasarımın geometrisi	51
Şekil 3.26. Altı kutuplu tasarım için Poisson çözümünün başlatılması.....	51
Şekil 3.27. Altı kutuplu mıknatıs tasarımın manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi.....	52
Şekil 3.28. Altı kutuplu mıknatısın manyetik alan dağılımının büyüklüğü ($ B $) ve konum (X) grafiği	53
Şekil 3.29. Altı kutuplu mıknatısın tasarımın 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda).....	53
Şekil 4.1. Sarmal ve dört kutuplu mıknatıs tasarımı için SMQMDesigner arayüzünden manyetik alan dağılımlarına kadar çözümlemenin işlem basamakları (yukarıda), altı kutuplu mıknatısın geometrisinden manyetik alan dağılımına kadar çözümleme işlem basamakları (aşağıda).....	54
Şekil 4.2. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen sarmal mıknatısın ilk tasarımı	54
Şekil 4.3. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen sarmal mıknatısın düzenlenmiş tasarımı	55
Şekil 4.4. solenoidx.sf dosyasının çalıştırılmasıyla elde edilen tasarım (solda), SOLENOIDX dosyasının çözülmesiyle elde edilen tasarım üzerindeki manyetik alan dağılımı (sağda).....	56

Şekil 4.5. Interpolate (SF7) tercihi yapımı (solda), sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımını veren grafiği elde etmek için yapılan tercihler (sağda).....	56
Şekil 4.6. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımını veren grafik	57
Şekil 4.7. Data tipi seçim ekranı(solda), Data seçim ekranı (sağda)	57
Şekil 4.8. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Bz bileşeninin pozisyona göre elde edilen grafik	58
Şekil 4.9. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Br/r bileşeninin pozisyona göre elde edilen grafik	58
Şekil 4.10. Sarmal mıknatıs tasarımında manyetik alan dağılımının alt demir ile temas ettiği nokta	59
Şekil 4.11. Alt demir için Excel dosyasıyla elde edilen z-Br/r grafiği	59
Şekil 4.12. Sarmal mıknatıs tasarımında manyetik alan dağılımının üst demir ile temas ettiği nokta	60
Şekil 4.13. Üst demir için Excel dosyasıyla elde edilen z-Br/r grafiği	60
Şekil 4.14. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda demirin içerisinde bulunan ve $r=R=25.2$ değerine karşı gelen nokta gösterimi	61
Şekil 4.15. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 25.2 olarak aldığımız sabit $r=R$ değerlerine göre z ve Br/r değerleri seçilir.....	61
Şekil 4.16. Sarmal mıknatısta demirin içerisindeki sabit ($r=R=25.2$) bir noktaya göre z-Br/r grafiği	62
Şekil 4.17. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda $r=R=15.12$ değerine karşı gelen nokta gösterimi	62
Şekil 4.18. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 15.12 olarak aldığımız sabit $r=R$ değerlerine göre z ve Br/r değerleri seçilir.....	63
Şekil 4.19. Sarmal mıknatısın demirin içerisindeki sabit $r=R=15.12$ noktasına göre z-Br/r grafiği	63
Şekil 4.20. SF7 ile açılan Interpolate ekranı ve tercihler.....	64
Şekil 4.21. Sarmal mıknatısın BFLD ('Quiklplot input' uzantılı) grafik dosyası ve seçtiğimiz noktalara göre Bz-Br/r grafiği	64
Şekil 4.22. Data seçim ekranından Br tercihi yapılır.....	65
Şekil 4.23. Sarmal mıknatısın manyetik alanın Br dağılım grafiği	65
Şekil 4.24. Data seçim ekranından Bz tercihi yapılır	66

Şekil 4.25. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Bz-z grafiği.....	66
Şekil 4.26. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda $r=0.42$ değerine karşı gelen nokta gösterimi	67
Şekil 4.27. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 0.42 olarak aldığımız sabit r değerine göre z-Br/r değerleri seçilir	67
Şekil 4.28. R değerini sabit 0.42 noktasına göre aldığımızda elde edilen z-Br/r grafiği.....	68
Şekil 4.29. Sarmal mıknatıs referans tasarım için manyetik alan dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Muniz, 2012) elde edilen sonuç (sağda).....	68
Şekil 4.30. Dört kutuplunun 1/2 lik görüntüsü, belirtilen okun yeri takip edilerek döndürme işleminin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır	70
Şekil 4.31. Döndürme işleminden sonra normal dört kutuplunun durumu, Şekil 4.31'deki ok değişiminden döndürme işleminin yönü saat yönünün tersine olduğu anlaşılmaktadır	71
Şekil 4.32. Döndürülmüş dört kutuplu (solda) üzerinde herhangi bir noktanın saat yönünün tersi yönde döndürülmesiyle elde edilen normal dört kutuplu (sağda) üzerindeki yeni koordinatları	71
Şekil 4.33. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen Superfish dosyaları.....	72
Şekil 4.34. Superfish dosyalarından quadrupolrx.sf döndürülmüş dört kutuplusunun “Automesh” ile çalıştırılmış tasarım (solda) ve “Run Poisson” ile elde edilen tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)	72
Şekil 4.35. Superfish dosyalarından quadrupolnx.sf normal dört kutuplusunun “Automesh” ile çalıştırılmış tasarım (solda) ve “Run Poisson“ ile elde edilen tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)	73
Şekil 4.36. Superfish dosyası dört kutuplunun 1/8'lik kısmı ile tasarımın manyetik alan dağılımı.....	74
Şekil 4.37. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması (solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda)	74
Şekil 4.38. Elde edilen yeni plot dosyasının çalıştırılmasıyla Bx ve By'nin konuma bağlı manyetik alan dağılımı.....	75
Şekil 4.39. Data seçilimi (solda), tekrar çizdirmek için manyetik alan B seçilir (sağda).....	75

Şekil 4.40. $x- B $ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği.....	76
Şekil 4.41. Normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı	76
Şekil 4.42. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alan bileşenlerinin konuma göre grafiği.....	77
Şekil 4.43. Normal dört kutuplu tasarımda varsayılan siyah çizgi üzerinde noktaları seçilirse x eksenı boyunca olan manyetik alan dağılımı elde edilir	78
Şekil 4.44. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), DATA seçimleri (sağda)	78
Şekil 4.45. Normal dört kutuplu mıknatısın $x-B_y$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği	79
Şekil 4.46. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri (sağda).....	79
Şekil 4.47. Normal dört kutuplu mıknatısın $y-B_x$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği	80
Şekil 4.48. Manyetik alan tercihi $x- B $ seçilir	80
Şekil 4.49. Normal dört kutuplu mıknatısın $x- B $ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği	80
Şekil 4.50. $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklüğü $ B $ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarısının manyetik alan büyüklük $ B $ (sağda) konuma (x) göre grafikleri	81
Şekil 4.51. $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklük $ B $ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarısının manyetik alan büyüklük $ B $ (sağda) konuma (x) göre grafiklerin maksimum olduğı noktalarının karşılaştırılması	82
Şekil 4.52. $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklük $ B $ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarısının manyetik alan büyüklük $ B $ (sağda) konuma (x) göre grafiklerin demirle kesildiğı bölgedeki değerlerin karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.53. Döndürölmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı.....	83
Şekil 4.54. Döndürölmüş dört kutuplu tasarımda varsayılan siyah çizgi üzerinde noktalar seçilirse hipotenüs boyunca olan manyetik alan dağılımı elde edilir	83
Şekil 4.55. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması (solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda)	84

Şekil 4.56. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alanının Bx ve By bileşenlerinin grafiği	84
Şekil 4.57. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri (sağda).....	85
Şekil 4.58. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın x-By bağlı manyetik alan dağılımı grafiği.....	85
Şekil 4.59. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri(sağda).....	86
Şekil 4.60. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın y-Bx bağlı manyetik alan dağılımı grafiği.....	86
Şekil 4.61. DATA seçimleri, x- B tercihi yapılıır	87
Şekil 4.62. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın x- B bağlı manyetik alan dağılımı grafiği.....	87
Şekil 4.63. Döndürülmüş dört kutuplu'nun x eksenı üzerindeki manyetik alan dağılımından varsaydığımız siyah çizgi üzerinden noktaları seçersek normal dört kutuplu'nun x eksenı boyunca olan manyetik alan dağılımlarını karşılaştırabiliriz.....	88
Şekil 4.64. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarım (solda), normal dört kutuplu tasarım (ortada) ve döndürülmüş dört kutuplu tasarım (sağda).....	88
Şekil 4.65. x- B bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri; 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda), normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)	89
Şekil 4.66. QUADRUPLERX.SF dosyası için oluşturulan Excel tablosu	89
Şekil 4.67. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) x- B bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın r- B bağlı manyetik alan dağılım grafiği (sağda)	90
Şekil 4.68. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda), normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda) maksimum olduğu noktalarının karşılaştırılması.....	90
Şekil 4.69. 1/8'lik normal dört kutuplu (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) x- B bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel	

dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın $r- B $ bağlı manyetik alan dağılım grafiği (sağda) maksimum olduğu noktalarının karşılaştırılması	91
Şekil 4.70. 1/8'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda) normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda) demirle kesildiği bölgedeki değerlerin karşılaştırılması	91
Şekil 4.71. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) $x- B $ bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın $r- B $ bağlı manyetik alan dağılım grafiği (sağda) demirle kesildiği bölgedeki değerlerin karşılaştırılması.....	92
Şekil 4.72. Dört kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan gradiyenti dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz 2017) elde edilen sonuç (sağda)	93
Şekil 4.73. Dört kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan bileşeni; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuç (sağda)	93
Şekil 4.74. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması(solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda).....	94
Şekil 4.75. Altı kutuplu mıknatıs için elde edilen plot dosyasının çalıştırılmasıyla B_x ve B_y bağlı manyetik alan dağılımı.....	94
Şekil 4.76. Data seçilimi yapıldıktan sonra tekrar çizdirmek için manyetik alan tercihleri B_y seçilir.....	95
Şekil 4.77. Altı kutuplu mıknatısın manyetik alanının B_y bileşenini konuma (X) bağlı grafiği.....	95
Şekil 4.78. Altı kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (üstte), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuç (altta).....	96

1. GİRİŞ

Madde birbiriyle yüksek enerjilerde çarpıştırılarak küçük boyutlardaki yapısı incelenebilir. Çarpışma enerjisi ne kadar büyük olursa o kadar küçük boyutlarda inceleme olanağı verir. Bugünkü bilgilerimize göre madde temel parçacıklardan oluşmuştur.

Parçacık hızlandırıcıları, yüklü parçacıkları yüksek hızlara çıkarmak ve demet halinde bir arada tutmak için elektromanyetik alanları kullanan araçların genel adıdır. Kullanılan parçacık tipi ve enerjisine göre hızlandırıcılar çeşitlilik göstermektedir. Birkaç aşamalı yapıda bulunan hızlandırıcılar kendi enerji aralıklarındaki deneylere parçacık demeti sağlamanın dışında, parçacıkları daha yüksek enerjilere çıkaracak şekilde hızlandırarak, büyük hızlandırıcıların ön kademesi olarak da çalıştırılmaktadır. Kullanım amacına göre çeşitliliği artan hızlandırıcı sistemleri gibi bu sistemler içerisinde kullanılan mıknatısların da birçok çeşidi bulunmaktadır. Amaç değiştikçe mıknatıs tasarımı, kullanılan malzeme, fiziksel boyutlar ve destek bileşenleri de değişiklik göstermektedir.

Bu çalışmada, doğrusal hızlandırıcılarda -örneğin, radyo frekans dörktuplu (RFQ)- kullanılan düşük enerjili demet aktarımı sisteminde kullanılan mıknatısların tasarımı için bir yazılım geliştirilmiş, farklı geometriler (sarmal ve dört kutuplu mıknatıs Şekil 3.1-3.2) için tasarım yapılmıştır. Burada manyetik alan dağılımlarının sonuçlarını göstermek için bir endüstri standardı olan Poisson/Superfish programı kullanılmıştır.

1.1. Temel Parçacıklar ve Temel Etkileşmeler

1960'larda parçacık fizikçileri, hadronların temel parçacıklar olmadıklarını, kuark¹ adı verilen parçacıklardan oluştuklarını anlamaya başladılar. Başlangıçta, sadece yukarı (u), aşağı (d) ve garip (s) olarak adlandırılan sadece üç tür kuark olduğuna inanılıyordu. Ancak, bu sayı zaman içinde sihirli (c), alt (b) ve üst (t) kuarkı kapsayacak şekilde altıya çıktı, bu sayı ilginç bir şekilde lepton sayısıyla aynıdır.

Kuarklar, Pauli'nin dışarlama ilkesine uyan fermiyonlardır ve üç kuark nükleon içinde birbirine bağlanabilirler. Kuarkların üç renk kuantum sayısı vardır: kırmızı, yeşil ve mavi. Her kuark türü (u, d, c, s, b, t) farklı bir renge sahip olabilir. Örneğin, üç garip kuark vardır: kırmızı garip kuark, yeşil garip kuark ve mavi garip kuark. Hadronları oluşturmak için birbirine bağlanan kuarklar renksiz yapıları oluştururlar.

¹ 'Kuark' adı fizikçi Murray Gell-Mann tarafından James Joyce'un Finnegans Wake romanındaki bir ifadeden türetilmiştir.

Bu nedenle bir baryon; kırmızı, mavi ve yeşil bir kuark içermelidir. Benzer şekilde bir mezon; kırmızı-antikırmızı, mavi-antimavi veya yeşil-antiyeşil kuark çifti içerir. Böylece, Pauli'nin dışarlama ilkesini ihlal etmeden, bir hadron içinde aynı spin durumunda iki kuark bulunabilir, çünkü bunların renkleri farklıdır.

Tablo 1.1. Tüm kuarklar spin-yarım fermiyonlardır ($s = 1/2$), kesirli bir yüke ($-1/3$ veya $2/3$) sahiptir ve baryon sayısı $B = 1/3$ 'tür. Her kuark, aynı kütlede ancak zıt elektrik yüküne ve baryon sayısına sahip bir antikuarka sahiptir

Kuark	Yük	Spin (s)	Baryon sayısı
Aşağı (d)	- 1/3	1/2	1/3
Yukarı (u)	+ 2/3	1/2	1/3
Garip (s)	- 1/3	1/2	1/3
Sihir (c)	+ 2/3	1/2	1/3
Alt (b)	- 1/3	1/2	1/3
Üst (t)	+ 2/3	1/2	1/3

1.2. Parçacık Hızlandırıcıları

Parçacık hızlandırıcıları, yüklü parçacıkları yüksek hızlara getirmek için elektromanyetik alanlar kullanır. CERN'deki büyük hadron çarpıştırıcısı (çarpışan proton demetleri), Higgs bozonu olarak bilinen parçacığın özelliklerini incelemeye, süpersimetri teoriler tarafından tahmin edilen geniş yeni parçacık ailesini aramaya ve diğer çözülmemiş fizik soruları dahil olmak üzere farklı parçacık fiziği teorilerinin tahminlerini test etmeye olanak vermektedir.

Tarihi açıdan, parçacık hızlandırıcıların arkasındaki mevcut teknolojiye yol açan üç bilimsel araştırma çizgisi belirlenmiştir. İlki, 1920'lerin başlarında Edward Rutherford'un atom parçacıklarının özelliklerine ilişkin araştırmasına öncülük etti ve atomu bölme olasılığına ilgi uyandırdı. 1928'de George Gamov, tasarımı yeterli güç ile yaklaşık 500 keV civarı üretebilirse çalışabileceğini öngördü. Rutherford, John Cockcroft ve Ernest Walton'u elektrostatik bir makine (500 kV parçacık hızlandırıcı) tasarlamaya teşvik etti ve dört yıllık geliştirmeden sonra, 1932'de Lityum atomunu 400 keV protonla bölerek atomun tamamen insan kontrollü ilk bölünmesini gerçekleştirdiler. Cockcroft ve Walton'a 1951 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran bu cihaz, şimdi Londra Bilim Müzesi'nde bulunuyor.

1920'lerde, Oxford Üniversitesi'nde Rhodes bursuyla fizik okuyan Amerikalı Robert Van de Graaff, daha güçlü bir elektrostatik jeneratör icat etti, ancak Cockcroft Walton jeneratörünün ilk başarılı testinden çok sonrasına kadar nükleer fizik araştırması için kullanılmadı. Van de Graaff jeneratörü daha sonra, 10 MeV'e kadar güç sağlayan yüksek basınçlı bir kuru nitrojen tankının eklenmesiyle geliştirilecektir. Ardından, bir tandem hızlandırıcı kullanılarak voltajı iki katına çıkarılır. En güçlü tandem hızlandırıcı artık, normalde 24.5 MeV'de çalışan Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı'nda çalışıyor.



Şekil 1.1. Linak 2750 keV Cockcroft-Walton jeneratör kaynak ve hızlandırıcı sistemi

Yüksek enerjili hızlandırıcıların geliştirilmesinde baskın hale gelen ikinci araştırma çizgisi, rezonans hızlandırmanın keşfiydi. Doğru gerilime dayanan Cockcroft Walton ve Van de Graff jeneratörlerinin aksine (bakınız Şekil 1.1), rezonans hızlandırma jeneratörleri, sürüklenme tüpleri arasında zamanla değişen alanlar kullanır. Ernest Ising, 1924'te, sistemde mevcut olan en yüksek doğru gerilim voltajını aşacak şekilde enerji oluşturulabileceğini teorileştirerek bir sistem önerdi. Enerji kaybını önlemek için, sürüklenme tüpleri bir daire içinde doğrusal makinelerde birleştirilebilir.

Bu çalışmadan yola çıkarak, Ernest Lawrence 1929'da sabit frekanslı bir siklotron (döndürgeç) tasarladı (bakınız Şekil 1.2). Çapı 30 cm'den küçük olan bu hızlandırıcı,

protonları 1.25 MeV civarına kadar hızlandırabildi. 1932'de Lawrence Cockcroft ve Walton'dan sadece haftalar sonra atomu böldü ve 1939'da bu başarı için Nobel Ödülü aldı.



Şekil 1.2. Ernest Lawrence, sabit frekanslı döndürgeç

Üçüncü bir gelişme çizgisi ise, 1923'te Rolf Wideroe tarafından icat edilen ve 1940'ta Donald Kerst tarafından, 2,2 MeV'de hareket eden elektronları gönderebilen betatronun yeniden icadıdır. Kerst, 1950'de en büyük betatronu 300 MeV'e kadar geliştirdi. Betatron'un yüksek enerji fiziği için bir cihaz olarak gelişmesi kısa süre sonra sona erdi, ancak hastanelerde ve küçük laboratuvarlarda bir araç olarak kullanılmaya devam etti.

Parçacıkları hızlandırmak için bu üç teknoloji; doğru akım hızlandırma, rezonans hızlandırma ve betatron modern hızlandırıcının oluşturulması için önemli teknolojiler haline geldi. Bu cihazlar Lawrence'ın döndürgeç şekline sahiptir, ancak faz kararlılığı ilkesi sayesinde göreceli etkilerini içermez. Bu kavram, parçacıkların boyuna odaklanmasına izin veren eş zamanlayıcıyı oluşturmak için kullanıldı. Modern eş zamanlayıcı, sürekli bir parçacık demetinin saatler boyunca dolaşmasına izin veren bir depolama halkası çarpıştırıcısı oluşturmak için kullanılır.

Eş zamanlayıcı, manyetik alanlar sayesinde parçacıkları dairesel yörüngede hareket ettirmek üzerine tasarlanmış bir sistemdir. Burada parçacıklar ve RF elektrik alanı arasındaki eşzamanlılık önemlidir.

Demet borusu adı verilen kısımda parçacıklar hareket ettirilirler ve elektrik alan sayesinde parçacıklar RF kovukları içerisinde hızlandırılırlar. İki kutuplu mıknatıslar ile parçacıkların sapmasını sağlamak için hareket yönüne dik yönde bir manyetik alan

uygulanmalıdır. Manyetik alan kuvveti ayarlanırken, eş zamanlayıcıda kullanılan iki kutuplu mıknatıs sayısı önemlidir. İki kutuplu mıknatıslar ile oluşturulan manyetik alanlar artırılarak RF kovuklarında hızlandırılan parçacıkların aynı yarıçaplı yörüngede hareket etmeleri sağlanmalıdır.

Bu yüzden, manyetik alanları oluşturmak için kullanılan mıknatıslar elektromıknatıslardır. Hızlandırma sürecinde demetler, paketler (bohça) haline getirilir. Bu bohça içinde aynı yüklü parçacıklar birbirlerini iterler ve bunun sonucunda hareket yönüne dik eksenlerde demet açılmaya başlar.

Eğer açılma devam ederse parçacıklar demet borusunun yüzeylerine çarparlar. Bu sorunu önlemek için dört kutuplu mıknatıs kullanılmalıdır. Dört kutuplu mıknatıslar demetin dikey ekseninde açılan parçacıkları demet borusunun merkezinde tutarlar. İnce kenarlı bir merceğin ışığı odakladığı gibi yüklü parçacıkları odakladıkları için dört kutuplu mıknatıslara odaklayıcı mıknatıslar denir. Dört kutuplu mıknatıslar yatay ekseninde demeti odaklarken dikey ekseninde demeti dağıtma özelliğine sahiptir, bunun sonucunda demet aynı anda hem yatay hem de dikey ekseninde odaklanamaz. Ancak, dört kutuplu mıknatıstan arka arkaya -mıknatısların odak uzaklığından kısa olacak şekilde- yerleştirildiğinde, demet hem dikey ekseninde hem de yatay ekseninde odaklanır. İki kutuplu mıknatıstan on kutuplu mıknatısa kadar çeşitli mıknatısların manyetik alan dağılımı Şekil 2.6'de gösterilmiştir.

1.2.1. Hızlandırıcılarda Kullanılan Mıknatıslar

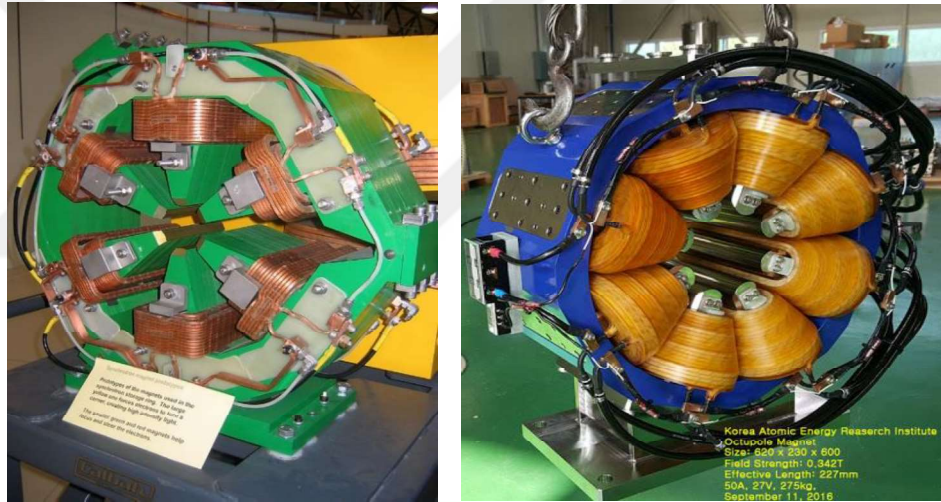
Bir hızlandırıcı zincirinin ana halkası, genellikle yarı düz yerleştirme bölgeleri ile ayrılan birkaç bükme yayından oluşmaktadır. Bükme yayları aynı eğrilik yarıçapına sahiptir ve 2π 'lik entegre bir bükme açısı sağlamak üzere tasarlanmıştır. Yerleştirme bölgeleri, hızlandırma istasyonlarını, demet enjeksiyon ve demet çıkarım hatlarını barındırır. Bir çarpışma halkası durumunda, iki zıt yönde dönen demet, yerleştirme bölgelerinden en az birinin ortasından geçecek şekilde tasarlanmaktadır. Demetlerin kesiştiği bölge etkileşim noktası olarak adlandırılır ve bu bölge deneyler için kullanılır.

Bir hızlandırıcı ana halkası etrafında bulunan elektromıknatıslar dört kategoriye ayrılır: ilk olarak halka yayları üzerine dağılmış çok sayıda mıknatıslar, ikincisi hedeflerin veya çarpışma noktalarının yakınında, içindeki demetleri işlemek için kullanılan sınırlı sayıda yerleştirme ve son odaklama mıknatısları, üçüncüsü hem yay üzerinde hem de

yerleştirme mıknatıslarıyla ilişkili çok sayıda düzeltici mıknatıslar ve dördüncüsü fizik deneyleri için kullanılan büyük detektör mıknatıslarıdır (Devred, 2001).



Şekil 1.3. Sarmal mıknatıs (solda), dört kutuplu mıknatıs (sağda)



Şekil 1.4. Altı kutuplu mıknatıs (solda), sekiz kutuplu mıknatıs (sağda)

1.2.2. Yay üzerindeki mıknatıslar

Halka yayları üzerine dağıtılan mıknatısların iki ana işlevi vardır: İlki demetin kapalı ve sabit bir yörünge etrafında bükülmesi ve diğeri ise demet için uygun bir boyut ve yoğunluk elde etmek için odaklanmasıdır. Büyük hızlandırıcı sistemlerinde, bükme ve odaklama işlevleri birbirinden ayrılır: örneğin Şekil 2.3'te de dış görünüşleri verilen çift kutuplu mıknatıslar tarafından demetin bükülmesi sağlanırken, demetin odaklanması (toplanması) veya odak dışı kalması (dağıtılması) dört kutuplu mıknatıs çiftleriyle sağlanır. Bu mıknatıslar, demeti odaklayan bir dört kutuplu, demeti büken bir çift kutuplu dizisinden, odağı dağıtan bir dört kutupludan ve başka bir demeti büken çift kutuplu dizisinden oluşan normal bir hücre kafesi içinde yayların etrafında düzenlenmiştir

(QDQD). Çok sayıda olmaları nedeniyle yay üzerindeki mıknatıslar Şekil 2.5'teki gibi genellikle endüstride toplu olarak üretilir (Devred, [2001](#)).



Şekil 1.5. Yay üzerindeki mıknatıslar, kırmızılar: bükme mıknatısları; maviler: dört kutuplu; sarı rekli olanları ise altı kutuplu mıknatıslardır. Yay üzerindeki beyaz dikey ve yatay tüpler ışığı eş zamanlayıcı radyasyon monitörüne yönlendirir

1.2.3. Yerleştirme ve son odaklama mıknatısları

Demeti enjektör zincirinden ana halkaya taşımak ve yerleştirme bölgelerindeki demeti tutmak için bir dizi özel mıknatıs gerekmektedir (bakınız Şekil 1.5). Bunların arasında, hedeflerin veya çarpışma noktalarının yakınında bulunan güçlü odaklayan dört kutuplu mıknatıs setleri vardır.

Ekleme ve son odaklama mıknatıslarının tasarımı ve imalatı, sınırlı serilerde üretilmeleri ve çok sistemli ortamlara göre özelleştirilmeleri nedeniyle yay üzerindeki mıknatıslara çok benzerdir (Devred, 2001).

1.2.4. Düzeltme mıknatısları

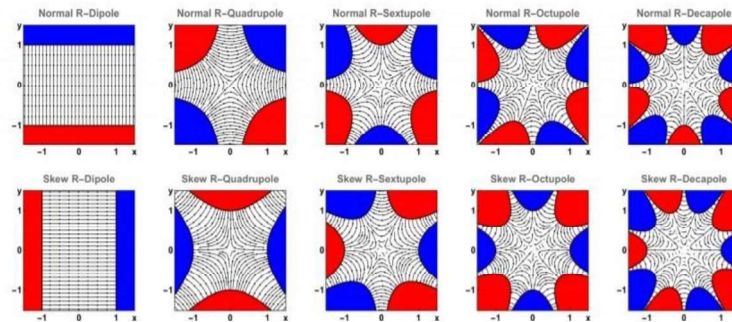
Ana mıknatısların hizalama hatalarını ve alan kalitesi hatalarını yerel veya global olarak telafi etmek için çok sayıda düzeltici mıknatısa ihtiyaç vardır. Bunlardan bazıları, demet optiğinin ince ayarı için gerekli özel işlevlerde de kullanılmaktadır. Düzeltici mıknatıslar yaydaki mıknatıslardan daha fazla olabilir, ancak genellikle boyut ve maliyet açısından küçüktür ve düşük performans gereksinimlerine sahiptir. Büyük hızlandırıcı sistemlerinde, çoğu süper iletkendir ve ana mıknatısların soğutma sistemlerinin içine monte edilir. Yay üzerindeki mıknatıslar ise seri halinde endüstride çok sayıda üretilmektedir (Devred, 2001).

1.2.5. Dedektör mıknatısları

Hedef veya çarpışma noktalarını çevreleyen bölgelerde fizik deneyleri genellikle dedektör yapısına gömülü büyük mıknatıs sistemleriyle çalışır. Mıknatıs sistemi ya bir Solenoid (sarmal) ya da bir Toroide (halka şekilli) -ya da her ikisinin bir kombinasyonuna- dayanmaktadır. Yerden tasarruf etmek ve parçacıklarla etkileşimi azaltmak için mıknatıs yapısı en aza indirilmelidir. Ayrıca, dedektör dizisine gömüldükten sonra, mıknatıs sistemine artık onarım ve bakım için erişilemez ve bu nedenle, güvenle ve hatasız çalışacak şekilde tasarlanmalıdır. Dedektör mıknatıslarının teknolojisi, hızlandırıcı mıknatıslardan çok farklıdır (Devred, 2001).

1.2.6. Mıknatısların düşük enerjili demet aktarımında kullanımı

Düşük enerjili demet aktarım hattı (DEDA), proton veya iyon demetini kaynaktan itibaren hızlandırıcının bir sonraki aşamasına, örneğin radyo frekans dört kutuplusuna (RFQ) aktarmak için kullanılır. Genellikle, yönlendirici mıknatıslar, odaklama mıknatısları ve yayılım ölçüm araçları gibi demet teşhis elemanları düşük enerjili demet aktarım hattına yerleştirilir. Bu hatta demeti daha yüksek taşıma verimliliği ile iyileştirmek için en az iki elektromanyetik mıknatıs gereklidir. Burada kullanılacak olan mıknatısların konumları ve oluşturdukları manyetik alanlar optimize edilmelidir. Bu çalışmada düşük enerji demet aktarımında kullanılan sarmal ve dört kutuplu mıknatıs tasarımı için bir yazılım geliştirilmiştir (SMQMDesigner).



Şekil 1.6. İki kutuplu mıknatıstan on kutuplu mıknatısa kadar manyetik alan dağılımı (döndürülmüş şekilleriyle birlikte)

1.3. SMQMDesigner Programı

Bursiyer olarak yer aldığım TÜBİTAK 117F143 no.lu “Demirci-Pro: Hafif İyonlar İçin Radyofrekans Dört kutuplusu Tabanlı Doğrusal Hızlandırıcı Tasarımı ve Benzetimi” isimli projede, doğrusal hızlandırıcıların başlangıç kısmıyla ilgili tasarım görevlerini yerine getirmek için geliştirilmiş bir radyofrekans dört kutuplusu tasarım yazılımıdır.

Burada, bir iyon kaynağının tasarımı, mıknatıslarının gerçekçi tasarımını içeren bir düşük enerjili demet aktarım hattının tasarımı ve son olarak bir biberlik (pepper pot) emisyon ölçümünün tasarımı yapılabilmektedir.

İyon kaynağı tasarımı ve simülasyonları, IBSimu paketi ile 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 çekilebilir. İyon kaynağı kurulum parametrelerini tanımlamak için Demirci-Pro basit bir kullanıcı arayüzü ile iyon demeti parametre değerlerini ayarlar. Bu değer ayarlanırken iki önemli bileşen vardır, bunlar plazma ve topraklama elektrotlarıdır. Bunların tasarımları performans açısından gerçekten önemlidir. İyon kaynaklı elektrotların, dxf formatında Demirci-Pro'ya aktarıldıktan sonra voltajları, z konumları ve açıları aynı zamanda ayarlanabilir.

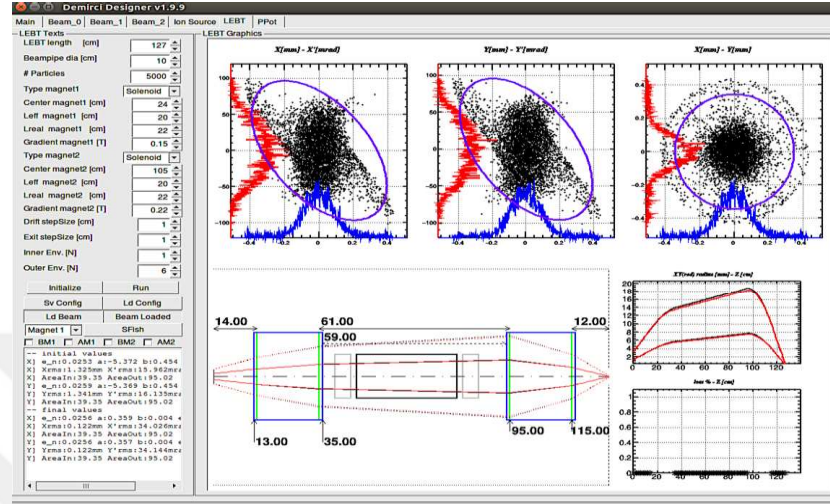
DEDA hattı, iyon demetinin iyon kaynağından sonraki aşamasıdır. İyon demetinin çapı ve yayınımlı RFQ ile eşleşmesi gerekir. Genellikle, yönlendirici mıknatıslar ve yayma ölçüm araçları gibi demet teşhis elemanları DEDA hattına yerleştirilir.

DEDA hattındaki demeti daha yüksek taşıma verimliliği ile iyileştirmek için elektromanyetik mıknatıslar kullanılır. Elektrostatik ve manyetik olmak üzere iki tür DEDA hattı vardır. Elektrostatik DEDA hatları birkaç elektrottan oluşur ve simülasyonları IBSimu ile yapılabilir. Manyetik DEDA hatları, tesisin gereksinimlerine göre sarmal, dört kutuplu, iki kutuplu veya yönlendirici mıknatıslardan oluşur. Demirci-Pro yazılımında Şekil 1.7'de görüldüğü gibi kodu ROOT² 'a dayalı grafik arayüzü içeren bir manyetik DEDA hattı simülasyon bölümü vardır.

Bir demet çizgisi oluştururken, önemli hedeflerden biri demet özelliklerini karakterize edebilmektir. Tipik ölçülen miktarlar ise demet yükü, demet profili ve demet yaymasıdır. Demet yükü genellikle Faraday Kabı ile ölçülür. Öte yandan, demet profilini ve yaymayı ölçmek için kurulum genellikle DEDA hattına bağlıdır ve tasarlanan demet hattına özel olmalıdır. Demirci-Pro, bu özellikleri ölçmek için biberlik ve parıldak tabanlı bir düzenek tasarlatılabilecek entegre bir bölüm sunar. Gelen demet önce biberlik plakasını ısıtır ve bu da yalnızca önceden tanımlanmış sayıda demetçik geçişine izin verir.

² ROOT, CERN tarafından geliştirilmiş nesne yönelimli bir kütüphane ve program paketidir

Bu demetler daha sonra parıldayan bir ekrana çarpar. Ölçüm kutusunun içine yerleştirilmiş ayna düzlemi sayesinde parıldıktan geçen demet, gözetleme deliğinde bulunan kamera ile yakalanır. Kameradan elde edilen resim, daha sonra demetçik parametrelerini belirlemek için analiz edilir.



Şekil 1.7. Demirci-Pro yazılımında, manyetik DEDA hattı ekran görüntüsü (Çakır, 2020)

Demirci-Pro, programın DEDA menüsünde tüm RFQ ışın hattı tasarımı yapmak üzere entegre edilmiştir. RFQ'ya girecek demetin enerjisi ve akımı, Kilpatrick değeri³, 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 (ϕ), kanatlar arası gerilim (V), minimum açıklık yarıçapı (a) ve hücre kiplenim (m)) sağlanmaktadır. Burada seçilen parametrenin istenen hücrede artması, azalması veya sabit kalması ayarlanabilmektedir.

Bir veya birden fazla değişken aynı grafik üzerinde RFQ uzunluğuna ya da hücre numarasına göre çizdirilebilmektedir. Demirci-Pro ile yatay ve düşey kanatlar çizdirilebilmekte ve kanat parametreleri bir koda kaydedilerek üretimde kullanılabilir.

RFQ kovuğu içinde parçacıkların davranışını tahmin edebilmek, ilgili geometride Poisson denklemini doğru çözebilmeye ve KT potansiyelinin ilk 8 terimini doğru olarak hesaplayabilmeye bağlıdır. Poisson denkleminin sayısal çözümü için Demirci-Pro sonlu

³ Kilpatrick değeri, RFQ içerisine ne kadar elektrik alan uygulayabileceğimizi ifade eden bir limittir. Bu limit aşılsa malzemeden kopan elektronlar istenmeyen ışımalara sebep olur (discharge) hem demetin hızlanmasını engeller hem de malzemenin bozulmasına neden olur.

eleman yöntemini kullanmaktadır. Bu yöntemde benzetimi yapılacak hücre hacmi, sabit sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlarla problem bir matris problemine dönüştürülür. Bu problemin çözülmesiyle hücre hacmi içerisindeki pek çok noktanın potansiyel değerleri elde edilir.

Demirci-Pro projesi için düşük enerjili demet aktarım hattında kullanılmak üzere hazırlanan SMQMDesigner isimli program, grafik arayüzlüdür ve ROOT kütüphaneleri ile birlikte çalışmaktadır. Bu program aynı zamanda Poisson/ Superfish yazılımı için girdi dosyası üretmektedir. Poisson/Superfish yazılımı mıknatıs tasarımı kenar bölgelerindeki alan bozukluklarını da dikkate alarak gerçekçi bir tasarım yapmayı sağlamaktadır.

1.3.1. Sarmal mıknatıs ve dörtkutuplu mıknatıs tasarımı

SMQMDesigner programının istenilen tasarıma yönelik olarak Sarmal (Solenoid) ve dört kutup (quadrupole) mıknatıs tasarımı için grafik arayüzü vardır. Programın arayüzü açıldıktan sonra, dört kutup ve sarmal mıknatısın tasarımın yapılması için gerekli verilerin girildiği ekran görülür. Fiziksel ölçülerini belirleyebildiğimiz bu ekranda bobinler üzerinden geçecek akım değerlerini de belirtebiliriz. Simetrik alan dağılımı elde edilmesi için bobinler üzerinden geçen akım değeri aynı olmalıdır bu yüzden tek bir akım değeri vardır. Burada bobinler özdeştir ve aynı akım değerindedir ancak akım yönleri tasarıma göre farklılık göstermektedir.

Tasarımın çözüm (solution) dosyası, Poisson ile çözümlemeden elde edilen grafik ve tasarım dosyalarıdır. Alan dağılımı üzerinde seçtiğimiz her bir nokta için manyetik alanı ve manyetik alanın eksenlere göre bileşenlerinin sayısal değerleri, her bir koordinat değeri, malzeme bilgisi ve tasarımdaki manyetik alan çizgileri birlikte görülebilir. Tasarımı yapılan mıknatısın farklı malzemelerden olması durumunda manyetik alanların hesabında manyetik geçirgenliği de göz önüne alınmaktadır.

Burada ön tanımlı olarak verilen mıknatıs tasarım parametreleri grafik arayüzünde değiştirilerek daha büyük veya daha küçük tasarımlar elde etmek mümkündür.

1.3.2. Altı kutup mıknatıs tasarımı

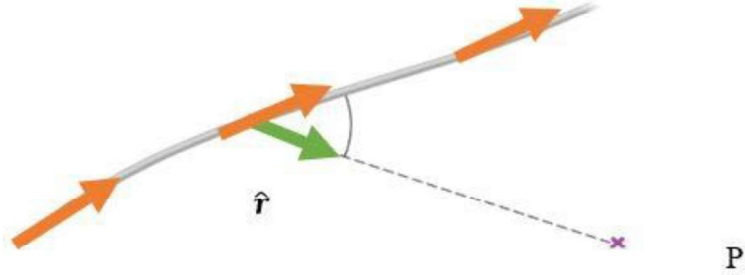
Altı kutup mıknatıs tasarımı için ek bir çalışma yapılmıştır. Tasarımın geometrisi x-y düzleminde kesit olarak altı kutup ve sarımların yerleri (konumları) belirlenmiştir. Oluşturulan Automesh dosyası Poisson/Superfish ile çalıştırılarak tasarımın geometrik

şekil üzerinde alan çizgileri elde edilmiştir. Sarımlara uygulanan akım değerleri değiştirilerek elde edilen alan dağılımı ve manyetik alan bileşenlerinin konuma göre değişim grafikleri çizilmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER

Üzerinden I akımını geçen bir telin, sonsuz küçük bir $ds \rightarrow$ elemanının bir P noktasında oluşturacağı manyetik alanının yönü ve büyüklüğü Şekil 2.1'deki görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1. Akım taşıyan telden geçen I akımının oluşturduğu manyetik alan

Burada r, akım kaynağının seçilen noktaya (P) olan uzaklığını gösterebilir, $\hat{r}$ ise birim vektördür ve akım kaynağının manyetik alan katkısı $d\vec{B}$ 'dir. Biot-Savart Yasasına göre;

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.1)$$

Burada μ_0 , boşluğun manyetik geçirgenliği olarak adlandırılan bir sabittir;

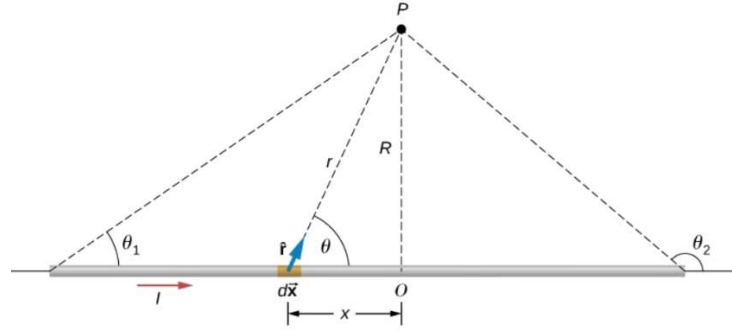
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \quad (2.2)$$

Tel boyunca oluşan manyetik alanı bulmak için

$$\vec{B} = \int_{tel} d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{tel} \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2.3)$$

bu integrali alınır.

Biot-Savart yasasını, uzun düz bir telin manyetik alanını belirlemek için kullanabiliriz. I akımını taşıyan ince, düz bir tel, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, x eksenini boyunca yerleştirilir. Manyetik alanı P noktasından değerlendirilir. P noktasındaki net manyetik alana telin uçlarından gelen katkılarının iptal edildiği varsayılmaktadır.



Şekil 2.2. I akımı taşıyan tel

Burada x yönünde I akımını taşıyan $ds=dx$ diferansiyel elemanı düşünülür. Bu kaynağın yeri $r = x'$ ile temsil edilmektedir. P 'nin konum noktası $(x, y) = (0, R)$ dir. Vektörel çarpımdan;

$$d\vec{s} \times \hat{r} = (dx'\hat{i}) \times (-\cos\theta\hat{i} + \sin\theta\hat{j}) = (dx'\sin\theta)\hat{k} \quad (2.4)$$

Manyetik alana katkısının yazıldığı ifade:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dx \sin\theta}{r^2} \hat{k} \quad (2.5)$$

bu da P 'deki manyetik alanın $+k$ yönünüveya sayfa dışına işaret edeceğini gösterir.

Burada θ , x ve r değişkenleri birbirinden bağımsız değildir. İntegrasyonu tamamlamak için, x ve r değişkenleri θ cinsinden yeniden yazılır.

$$\begin{cases} r = a/\sin\theta = a \csc\theta \\ x = a \cot\theta \rightarrow dx = -a \csc^2\theta d\theta \end{cases} \quad (2.6)$$

manyetik alan katkıları diferansiyel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{(-a \csc^2\theta d\theta) \sin\theta}{(a \csc\theta)^2} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi a} \sin\theta d\theta \quad (2.7)$$

θ_1 ile θ_2 arasındaki tüm açılar üzerinden integral alınır.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \int_{-\theta_1}^{\theta_2} \sin\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos\theta_2 + \cos\theta_1) \quad (2.8)$$

θ_2 ile ilgili ilk terimden, $+x$ eksenini boyunca olan kısmın katkısı hesaplanır, ikinci terim ise $-x$ eksenini boyunca θ_1 ile ilgili kısımdan katkısı içerir.

Aşağıdaki durumlar incelendiğinde:

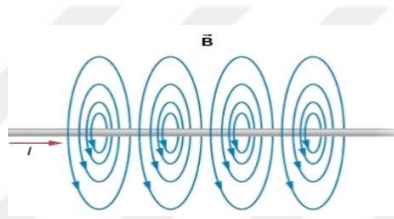
a) Simetrik durum, $-\theta_1=\theta_2$. P noktası eksene dik doğrultuda, çubuğun uzunluğu $2L$ ise $\cos\theta_1=L/\sqrt{L^2+a^2}$ ve manyetik alan

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \cos\theta_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \frac{L}{\sqrt{L^2+a^2}} \quad (2.9)$$

b) Sonsuz uzunluk limiti $L \rightarrow \infty$, bu limit $(\theta_1, \theta_2) = (0,0)$ seçilerek elde edilir. Burada a kadarlık bir mesafede manyetik alan;

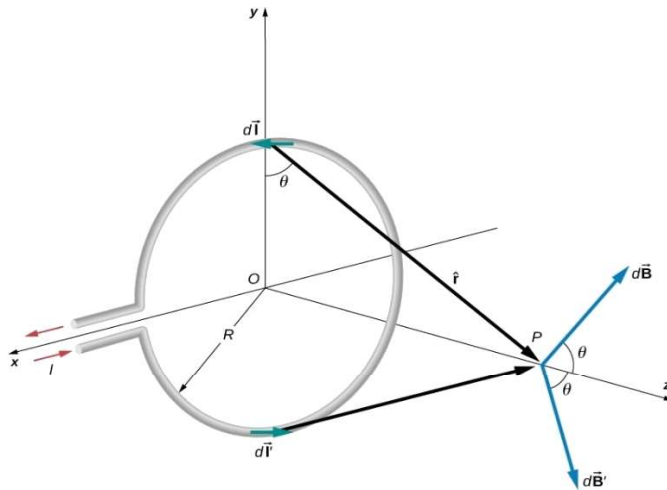
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad (2.10)$$

Şeklindedir. Bu sınırda sistem silindirik simetriye sahiptir ve manyetik alan çizgileri Şekil 2.3'te gösterildiği gibi daireseldir.



Şekil 2.3. I akımını taşıyan sonsuz tel nedeniyle oluşan manyetik alan çizgileri

Uzun düz bir tel nedeniyle oluşan manyetik alanın yönü, sağ el kuralına göre belirlenir. I akımını taşıyan ve R yarıçapına sahip tel, x - y düzleminde manyetik alan çizgileri halka şeklindedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sabit bir akım taşıyan dairesel halka nedeniyle oluşan manyetik alan

Kaynak noktası kartezyen koordinatlarda, diferansiyel akım elemanı olarak yazılır.

$$\vec{r}' = R(\cos\theta' \hat{i} + \sin \theta' \hat{j}) \quad (2.11)$$

Alan noktası $d\vec{s} = I(d\vec{r}'/d\theta')d\theta' = IR d\theta'(-\sin\theta \hat{i} + \cos\theta \hat{j})$ seçilen noktada merkezden z mesafede manyetik alanın konum vektörü $\vec{r}_p = z \hat{k}$ ile verilir.

Bağıl konum vektörü $\vec{r} = \vec{r}_p - \vec{r}'$ ifadesi ile $\vec{r} = \vec{r}_p - \vec{r}' = -R \cos \theta' \hat{i} - R \sin \theta' \hat{j} + z \hat{k}$ ve büyüklüğü $r = |\vec{r}| = \sqrt{(-R \cos \theta')^2 + (-R \sin \theta')^2 + z^2}$ diferansiyel akım elemanı ve P arasındaki mesafedir. Böylece, I ds'den P'ye doğru karşılık gelen birim vektör olarak yazılır.

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} = \frac{\vec{r}_p - \vec{r}'}{|\vec{r}_p - \vec{r}'|} \quad (2.12)$$

Vektör çarpımı basitleştirmek için $d\vec{s} \times (\vec{r}_p - \vec{r}')$ olarak yazılır.

$$d\vec{s} \times (\vec{r}_p - \vec{r}') = \quad (2.13)$$

$$Rd\theta'(-\sin\theta' \hat{i} + \cos\theta' \hat{j}) \times [-R \cos\theta' \hat{i} - R \sin\theta' \hat{j} + z \hat{k}]$$

$$= Rd\theta'[z \cos\theta' \hat{i} - z \sin\theta' \hat{j} + R \hat{k}] \quad (2.14)$$

Biot-Savart yasasını kullanarak, seçilen yüzeylerin P'deki manyetik alana katkısı aşağıdaki gibidir.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{s} \times (\vec{r}_p - \vec{r}')}{|\vec{r}_p - \vec{r}'|^3} \quad (2.15)$$

$$= \frac{\mu_0 IR}{4\pi} \frac{z \cos\theta' \hat{i} + z \sin\theta' \hat{j} + R \hat{k}}{(R^2 + z^2)^{3/2}} d\theta' \quad (2.16)$$

İntegrasyonu gerçekleştirmek için yukarıda elde edilen sonuç kullanılır, P'deki manyetik alan

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 IR}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{z \cos\theta' \hat{i} + z \sin\theta' \hat{j} + R \hat{k}}{(R^2 + z^2)^{3/2}} d\theta' \quad (2.17)$$

B'nin x ve y bileşenlerinin sıfır olduğu kolayca gösterilebilir:

$$B_x = \frac{\mu_0 IRz}{4\pi(R^2 + z^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi} \cos\theta' d\theta' = \frac{\mu_0 IRz}{4\pi(R^2 + z^2)^{3/2}} \sin\theta' \Big|_0^{2\pi} = 0 \quad (2.18)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 IRz}{4\pi(R^2 + z^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi} \sin\theta' d\theta' = \frac{\mu_0 IRz}{4\pi(R^2 + z^2)^{3/2}} \cos\theta' \Big|_0^{2\pi} = 0 \quad (2.19)$$

Öte yandan, z bileşeni aşağıdaki gibidir.

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IR^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi} d\theta' = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi IR^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 IR^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.20)$$

Böylece, simetrik eksen boyunca B_z 'nin manyetik alanın kaybolmayan tek bileşeni olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara simetri argümanları kullanılarak da ulaşılabilir.

B_z/B_0 davranışı z/R 'nin bir fonksiyonu olarak Şekil 2.6'da verilmiştir, burada $B_0 = \mu_0 I / 2R$ 'dir. Manyetik alanın z bileşeni,

$$B_z = \frac{\mu_0 IR^2}{2(r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.21)$$

Bu denklem

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2R} \quad (2.22)$$

olarak B_0 cinsinden yazılır.

$$B_z = \frac{\mu_0 IR^2 R}{2R(r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.23)$$

$$B_z = B_0 \frac{\mu_0 IR^3}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.24)$$

B_z 'nin B_0 'a oranını bulmak için;

$$\frac{B_z}{B_0} = \frac{R^3}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (2.25)$$

Bulunan ifade x - y cinsinden yazılırsa,

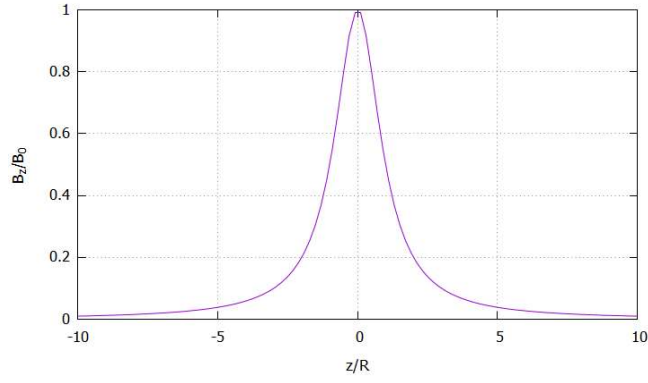
$$\frac{B_z}{B_0} = \frac{R^3}{[R^2(1 + \frac{z^2}{R^2})]^{3/2}} \quad (2.26)$$

$$\frac{B_z}{B_0} = \frac{1}{(1 + \frac{z^2}{R^2})^{3/2}} \quad (2.27)$$

ifadesi elde edilir. Burada grafiği çizebilmek için x ve y tanımları aşağıdaki gibidir.

$$x = \frac{z}{R} \quad (2.28)$$

$$y = \frac{1}{(1 + x^2)^{3/2}} \quad (2.29)$$



Şekil 2.5. z / R 'nin bir fonksiyonu olarak manyetik alan oranı, B_z/B_0

Eğer P noktasına bir manyetik çift kutuplu mıknatıs $\mu=\mu_z \hat{k}$ yerleştirilse, manyetik alanın düzgün dağılmaması nedeniyle, çift kutuplu mıknatısın maruz kaldığı kuvvet,

$$\vec{F}_B = \nabla(\vec{\mu} \cdot \vec{B}) = \nabla(\mu_z B_z) = \mu_z \left(\frac{dB_z}{dz} \right) \hat{k} \quad (2.30)$$

dB denkleminde yararlanılırsa

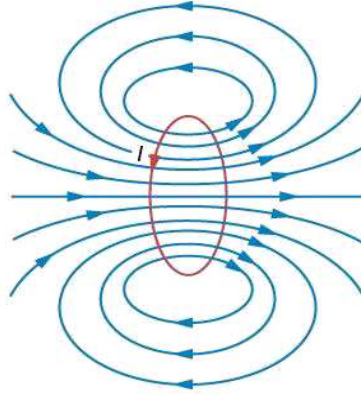
$$\vec{F}_B = - \frac{3\mu_z \mu_0 I R^2 z}{2(R^2 + z^2)^{5/2}} \hat{k} \quad (2.31)$$

Böylece çift kutuplu mıknatıs, akım taşıyan halkaya doğru çekilir ve çift kutuplu mıknatısın yönü tersine çevrilirse, $\mu=-\mu_z \hat{k}$ şeklinde ortaya çıkan kuvvet itici olacaktır.

2.1. Sarmal Mıknatıs

Sarmal mıknatıs, sıkıca sarılmış sarmal biçimde uzun bir tel bobinidir. Şekil 2.6, sabit bir I akımı taşıyan sarmal mıknatısın manyetik alan çizgilerini gösterir. Çizgilerin dönüşlerinin çok aralıklı olması durumunda, sarmal mıknatısın içindeki manyetik alan, sarmal mıknatıs uzunluğunun çapından çok daha büyük olması şartıyla, oldukça düzgün hale gelir.

Sıkıca sarılmış sonsuz uzunluğa sahip “ideal” bir sarmal mıknatıs için, sarmal mıknatısın içindeki manyetik alan düzgündür ve eksene paraleldir. Bu alan sarmal mıknatısın dışında kaybolmaktadır.



Şekil 2.6. Bir sarmal mıknatısın manyetik alan çizgileri

İdeal bir sarmal mıknatıs içindeki manyetik alan şiddetini hesaplamak için Ampere Kanunu kullanılır. İdeal bir sarmal mıknatısın kesit alanı Şekil 2.7.'de gösterilir. B'yi hesaplamak için, akım I ve eni w olan dikdörtgen bir yol düşünülür ve saatin tersi yönde hareket edilir. B'nin bu yol boyunca çizgi integrali

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \int_1 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_2 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_3 \vec{B} \cdot d\vec{s} + \int_4 \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (2.32)$$

$$= 0 + 0 + Bl + 0 \quad (2.33)$$

şeklindedir. Yukarıdaki ifadelerde 2. ve 4. kısımlardaki katkılar sıfırdır, çünkü B , ds 'ye diktir. Ek olarak, 1. kısım boyunca $B=0$, çünkü manyetik alan sadece sarmal mıknatısın içinde sıfır değildir. Öte yandan, Ampere ilmeği tarafından çevrilen toplam akım, $I_{enc}=NI$ 'dır, N sarım sayısıdır. Ampere yasalarının özellikleri uygulanarak

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = Bl = \mu_0 NI \quad (2.34)$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L} = \mu_0 nI \quad (2.35)$$

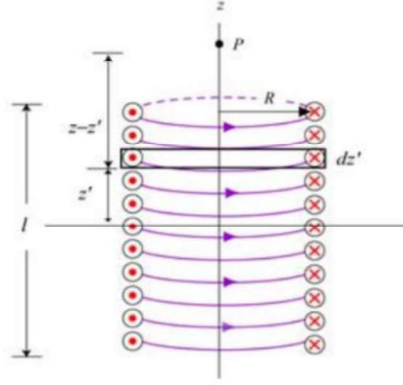
Burada $n=N/L$ birim uzunluk başına sarım sayısını gösterir. Manyetik alan $K=nI$ yüzey akımı veya birim uzunluk başına akım cinsinden ayrıca şöyle yazılır:

$$B = \mu_0 K \quad (2.36)$$

Sonlu bir sarmal mıknatısın manyetik alanı, bir sarmal mıknatısı çok sayıda dairesel ilmeği birlikte sıkıca sıralayarak, istenen şekilde elde edilir. Sarmal mıknatısı çözerken, z eksenini üzerindeki P noktasındaki manyetik alan aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Şekil 2.7'de gösterildiği gibi, z uzaklığında bulunan, dz kalınlığında, sıkıca sıralanmış halkaların bir kesiti alınır. Akım miktarı, birim uzunluk başına sarım sayısı ve kesitin kalınlığıyla orantılıdır.

$$dI = I(ndz') = I(N/L)dz' \quad (2.37)$$



Şekil 2.7. Sonlu sarmal mıknatıs

Bu ilmeğe katkılarla P'deki manyetik alan,

$$dB_z = \frac{\mu_0 R^2}{2 [(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} dI = \frac{\mu_0 R^2}{2 [(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} (nldz') \quad (2.38)$$

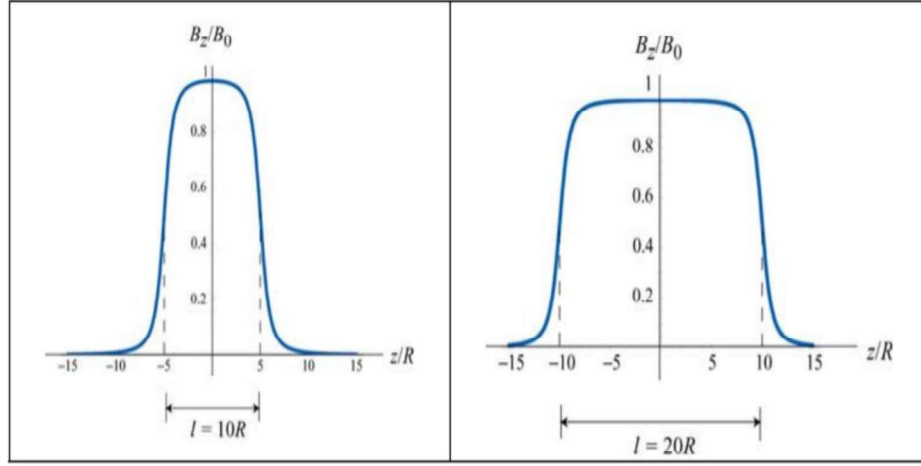
Sarmal mıknatısın tüm uzunluğu boyunca integral alınır.

$$B_z = \frac{\mu_0 n l R^2}{2} \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dz'}{[(z - z')^2 + R^2]^{3/2}} \quad (2.39)$$

$$= \frac{\mu_0 n l R^2}{2} \left. \frac{z' - z}{R^2 \sqrt{(z - z')^2 + R^2}} \right|_{-L/2}^{L/2} \quad (2.40)$$

$$= \frac{\mu_0 n l}{2} \left[\frac{(L/2) - z}{\sqrt{(z - L/2)^2 + R^2}} + \frac{(L/2) + z}{\sqrt{(z + L/2)^2 + R^2}} \right] \quad (2.41)$$

B_z / B_0 değerlerinin grafikleri, B'nin sonlu sarmal mıknatısın manyetik alanı, $B_0 = \mu_0 n l$ olmak üzere, z / R 'nin bir fonksiyonu olarak Şekil 2.8'de olduğu gibi çizilir.



Şekil 2.8. $l=10R$ (solda) ve $l=20R$ (sağda) için sonlu bir sarmal mıknatısın manyetik alanı

$z \ll l/2$ bölgesindeki manyetik alanın değeri neredeyse homojen ve yaklaşık olarak B_0 'a eşittir.

2.2. Dört Kutup Mıknatıs

Dört kutuplu mıknatıs, dört adet sarımdan oluşan ve yüklü parçacıkları bir doğrultuda odaklarken bu doğrultuya dik ekseninde dağıtan mıknatıs çeşididir.

Manyetiksel potansiyel ifadesi kutupsal koordinatlarda bir (r, θ) noktasında aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\phi(r, \theta) = A_2 r^2 \cos 2\theta + B_2 r^2 \sin 2\theta \quad (2.42)$$

bu ifade koordinat dönüşümüyle kartezyen koordinatlarda yeniden yazılabilir.

$$\phi(r, \theta) \rightarrow \phi(x, y) \quad (2.43)$$

Burada $x = r \cos \theta$ ve $y = r \sin \theta$ ile verilir. Trigonometrik eşitlikler, $\cos 2x = 2\cos^2 x - 1$, $\sin 2x = 2\cos x \sin x$ olarak kullanılır. Potansiyel ifadesi kartezyen koordinatlarda aşağıdaki gibi bulunur.

$$\phi = A_2 r^2 (2\cos^2 x - 1) + B_2 r^2 (2\cos x \sin x) \quad (2.44)$$

$$\phi = 2A_2 x^2 - A_2 (x^2 + y^2) + 2B_2 xy \quad (2.45)$$

$$\phi = A_2 (x^2 - y^2) + 2B_2 xy \quad (2.46)$$

Bu ifadede dört kutuplu çeşidine uygun olarak, örneğin normal dört kutuplu, $A_2 = 0$ alınır ve potansiyel $\phi = 2B_2 xy$ elde edilir.

Manyetik alan dağılımı⁴ için,

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}\phi \quad (2.47)$$

denklemini kullanılır. Düzlemde manyetik alan bileşenleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$\vec{B} = -\frac{\partial\phi}{\partial x}\hat{i} - \frac{\partial\phi}{\partial y}\hat{j} \quad (2.48)$$

$$\vec{B} = -(2A_2x + 2B_2y)\hat{i} - (-2A_2y + 2B_2x)\hat{j} \quad (2.49)$$

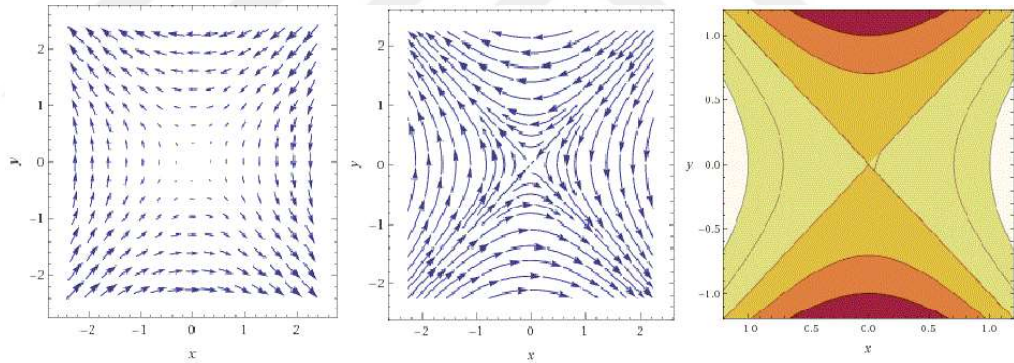
$$\vec{B} = A_2(-2x\hat{i} + 2y\hat{j}) + B_2(-2y\hat{i} - 2x\hat{j}) \quad (2.50)$$

$$B_x = -2A_2x - 2B_2y \quad (2.51)$$

$$B_y = 2A_2y - 2B_2x \quad (2.52)$$

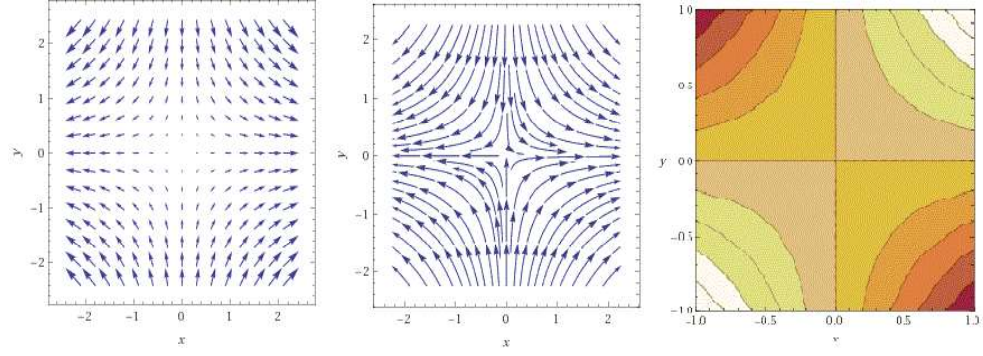
Burada $A_2 = 0$ ve $B_2 = \frac{1}{2}$ (Normal Dört kutuplu) alınırsa $B_x = -y$, $B_y = -x$ olur.

Bundan başka $A_2 = \frac{1}{2}$ ve $B_2 = 0$ (Döndürülmüş Dört kutuplu) alınırsa $B_x = -x$, $B_y = y$ olur.



Şekil 2.9. Normal dört kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)

⁴ Manyetik skaler potansiyel, elektrostatikte elektrik alanını belirtmek için elektrik potansiyelini kullanmaya benzer bir şekilde, serbest akım olmadığı durumlarda manyetik alanı belirtmek için kullanılabilir. Potansiyel, sıfır akım yoğunluğuna sahip herhangi bir bölgede geçerlidir, bu nedenle akımlar teller veya yüzeylerle sınırlandırılmışsa, uzaydaki tüm noktalarda manyetik alanın bir tanımını sağlamak için parça parça çözümler birbirine bağlanabilir.

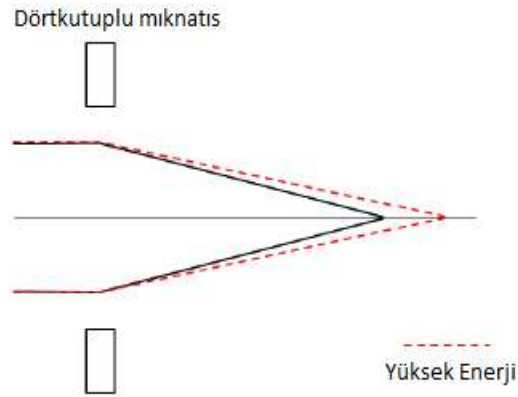


Şekil 2.10. Döndürülmüş (skew) dört kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)

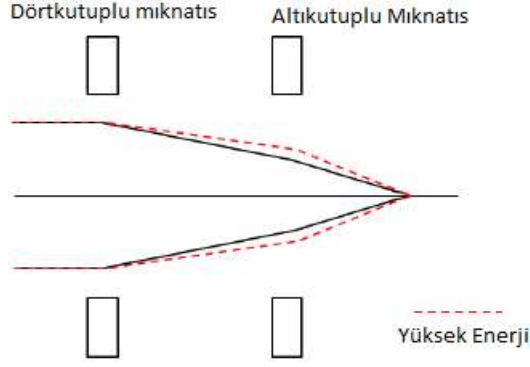
Şekil 2.9’da ve Şekil 2.10’da görüldüğü üzere normal ve döndürülmüş dört kutuplu mıknatısların alan integralleri ve potansiyel grafikleri Wolframalpha (Matemática) ile çizilmiştir.

2.3. Altı Kutup Mıknatıs

Bir elektron demetini x yönünde odaklayan bir dört kutuplu düşünülürse, elektronların bazıları daha yüksek enerjilere sahip olduğu durumda, dört kutuplu alan tarafından daha az bükülürler (bakınız Şekil 2.11). Bu durumda elektron demeti geliş doğrultusuna göre daha az odaklanacaktır. Dört kutuplu mıknatısın kromatik etkisini düzeltmek için altı kutuplu mıknatısa ihtiyaç duyulur. Şekil 2.12’deki gibi bir dört kutuplu ile karşılaştırıldığında, bir altı kutuplu mıknatıs, eksenden daha uzağa giden elektronlar için daha büyük bir odaklama etkisine sahip olmalıdır. Bu altı kutuplu ile gerçekleşir, çünkü dört kutuptaki x ’in birinci kuvveti yerine (x^1) altı kutupta x ’in ikinci kuvveti gelir (x^2) (Hock, 2010).



Şekil 2.11. Dört kutuplu mıknatıs için kromatik etki



Şekil 2.12. Bir altı kutuplu mıknatısın kullanılarak kromatik etkinin düzeltilmesi

Manyetik skaler potansiyeli ψ ile gösterilir;

$$\mathbf{B} = -\mu_0 \nabla \psi \quad (2.53)$$

B manyetik alan şiddetidir. Kolaylık sağlamak için $\mu_0 \psi$, ϕ ile değiştirilebilir. Skaler potansiyel alan için çok kutuplu alan genişletmesi aşağıdaki gibi yazılır:

$$\phi = \sum_{m=0}^{\infty} r^m \{A_m \cos m\theta + B_m \sin m\theta\} \quad (2.54)$$

r , eksene olan mesafedir, θ azimut açısı ve $\theta = 0$, pozitif x yönüdür. A_m ve B_m sabit katsayılarıdır. Her terim için oluşan manyetik alana bakılır.

Burada m 'nin tam sayı değerlerine karşı gelen birkaç kutuplu için manyetik alan ve potansiyel terimlerine bakılabilir (Hock, 2010).

$m = 0$ olduğunda: $\phi = A_0$ olur ve bu yüzden alan sıfırdır:

$$\mathbf{B} = -\nabla \phi = 0\mathbf{i} + 0\mathbf{j} \quad (2.55)$$

$m=1$ olduğunda,

$$\phi = \sum_{m=0}^{\infty} r^m \{A_m \cos m\theta + B_m \sin m\theta\} \quad (2.56)$$

ile verilir. Kartezyen koordinatlarda:

$$\phi = A_1 x + B_1 y \quad (2.57)$$

şeklindedir. Böylece iki kutuplu mıknatıs alanı bulunur:

$$\mathbf{B} = -\nabla \phi = A_1 \mathbf{i} + B_1 \mathbf{j} \quad (2.58)$$

$m=2$ olduğunda,

$$\phi = A_2 r^2 \cos 2\theta + B_2 r^2 \sin 2\theta \quad (2.59)$$

Bu dört kutuplu manyetik alanını verir:

$$B = -\nabla\phi = A_2(-2xi + 2yj) + B_2(-2yi - 2xj) \quad (2.60)$$

$A_2 = 0$ normal dört kutuplu ve $B_2 = 0$ döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs alanı elde edilir.

$m=3$ olduğunda,

$$\phi = A_3 r^3 \cos 3\theta + B_3 r^3 \sin 3\theta \quad (2.61)$$

bunu Kartezyen koordinatlarda yeniden yazarken, altı kutuplu mıknatıs alanı türetilir:

$$B = -\nabla\phi = A_3(-3(x^2 - y^2)i + 6xyj) + B_3(-6xyi - 3(x^2 - y^2)j) \quad (2.62)$$

Normal altı kutuplu için, $A_3 = 0$ ve x ve y manyetik alan bileşenleri şunlardır:

$$B_x = -6B_3 xy \quad (2.63)$$

$$B_y = -3B_3(x^2 - y^2) \quad (2.64)$$

Böylece,

$$B_x = \frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} xy \quad (2.65)$$

$$B_y = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2} (x^2 - y^2) \quad (2.66)$$

Potansiyel için

$$\phi = A_3 r^3 \cos 3\theta + B_3 r^3 \sin 3\theta \quad (2.67)$$

ile verilir. Bunu kartezyen koordinatlarda yeniden yazarken, altı kutuplu mıknatıs için potansiyel ifadesi elde edilir: $\phi(r, \theta) \rightarrow \phi(x, y)$, burada $x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$ açılarının sinüsü ve kosinüsü ile ilgili özdeşlikler

$$\cos 2\theta = \cos^3 \theta - 3 \sin^2 \theta \cos \theta \quad (2.68)$$

$$\sin 3\theta = 3 \cos^2 \theta \sin \theta - \sin^3 \theta \quad (2.69)$$

şeklinde elde edilir (Hock, 2010). Potansiyel ifadesi x - y bağılı olarak yazılır:

$$\phi = A_3(x^3 - 3y^2x) + B_3(3yx^2 - y^3) \quad (2.70)$$

$$A_3 = 0, \phi = B_3(3yx^2 - y^3) \quad (2.71)$$

Manyetik alan dağılımı için,

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}\phi \quad (2.72)$$

$$\vec{B} = -\frac{\partial\phi}{\partial x}\hat{i} - \frac{\partial\phi}{\partial y}\hat{j} \quad (2.73)$$

Manyetik alan bileşenleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$B_x = A_3(3y^2 - 3x^2) - B_3(6yx) \quad (2.74)$$

$$B_y = A_3(6yx) + B_3(3y^2 - 3x^2) \quad (2.75)$$

$$\vec{B} = A_3((3y^2 - 3x^2)\hat{i} + 6yx\hat{j}) + B_3(-6yx\hat{i} + (3y^2 - 3x^2)\hat{j}) \quad (2.76)$$

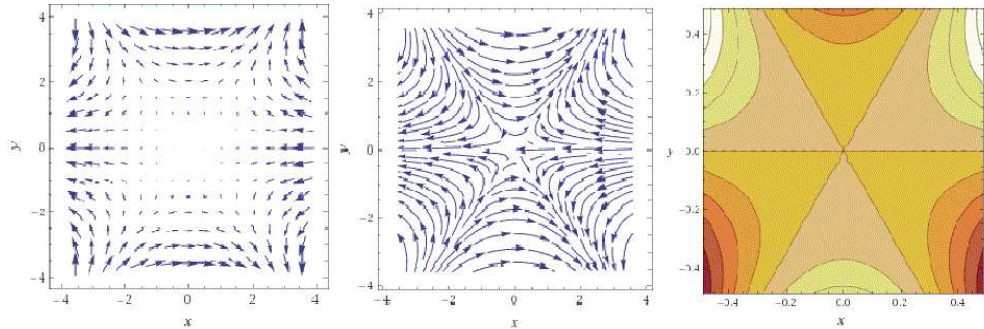
Burada $A_3 = 0$ (Normal altı kutuplu) alındığında manyetik alan bileşenleri:

$$B_x = -6xy, B_y = -3(x^2 - y^2) \quad (2.77)$$

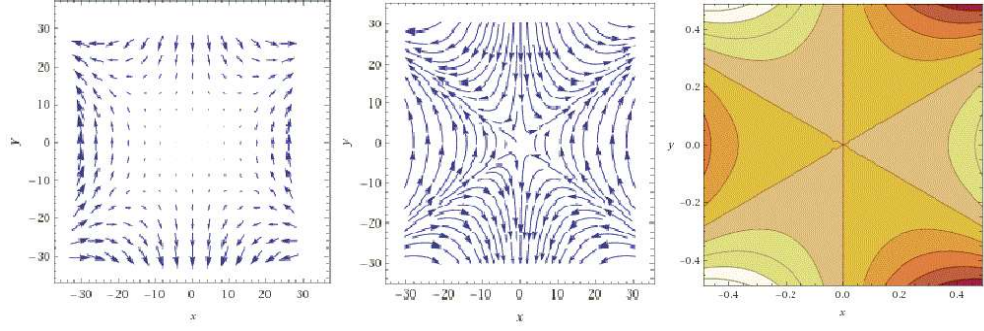
olarak elde edilir. Bundan başka $B_3 = 0$ (Skew altı kutuplu) alındığında:

$$B_x = 3(y^2 - x^2), B_y = 6xy \quad (2.78)$$

elde edilir (Hock, 2010).



Şekil 2.13. Normal altı kutuplu için vektör dağılımı (solda), alan integrali (ortada) ve potansiyel grafiği (sağda)



Şekil 2.14. Döndürülmüş (*skew*) altı kutuplu için vektör dağılımı (*solda*), alan integrali (*ortada*) ve potansiyel grafiği (*sağda*)

Şekil 2.13'te ve Şekil 2.14'te görüldüğü üzere normal ve döndürülmüş altı kutuplu mıknatısların alan integralleri ve potansiyel grafikleri Wolframalpha (Matematica) ile çizilmiştir.

3. MIKNATIS TASARIMI

Mıknatıs tasarımı için temel uygulama sonlu eleman yöntemidir (Finite Element Method). İngiltere'nin Rutherford Appleton Laboratuvarı'ndaki bilim insanlarının 1970'lerde yaptığı bir projeden başlayarak, başlangıçta parçacık hızlandırıcı mıknatısların tasarımını desteklemek için geliştirilmiştir. O zamanlar, sonlu eleman yöntemi yazılımı bir ana bilgisayar gerektiriyordu ve temelde, daha yüksek enerjili parçacık hızlandırıcılarında süper iletken mıknatıslar için tasarım problemlerinin çözülmesine yardımcı olmak amacıyla tasarlanmıştır. Günümüzde ise yazılım, elektromanyetik, termal ve stres dahil olmak üzere birçok fizik konusunu ilgilendirmektedir. Standart bir bilgisayara erişimi olan herkese 2 ve 3 boyutlu tasarım, simülasyon, analiz ve optimizasyon olanakları sunmaktadır. Dünya çapında üniversiteler, mühendislik şirketleri ve araştırma kuruluşları tarafından kullanılan bu yöntem, aynı zamanda tüm normal iletken (NC) mıknatıslar için CERN Teknoloji Biriminin tercih ettiği tasarım yöntemidir.

Sonlu eleman yöntemi hem iki boyutlu (2B) hem de üç boyutlu (3B) versiyonlarla mıknatıs tasarımıyla başlayarak, çeşitli enjektör hızlandırıcıların normal iletken elektromıknatıslarını ve kalıcı mıknatıslarını modellemek için kullanılır. Doğrusal hızlandırıcılar, transfer hatları ve depolama hızlandırıcıları mıknatıslarını içeren geniş bir tasarlama ağı vardır. Tasarım araçlarının amacı, tüm etkileri doğru bir şekilde simüle etmek, daha verimli mıknatısların tasarımını kolaylaştırmak ve düzlemsel olmayan simetri nedeniyle doygunluk ve alan harmonikleri gibi yerel etkilerin tasarım sürecinin erken aşamalarında dikkate alınmasını sağlamaktır.

Poisson/Superfish yazılımı mıknatıs tasarımı gerçeğe bir tasarım yapmayı amaçlayan ve endüstride kullanılmak üzere tasarım çıktıları üretebilen bir programdır. Bu çalışmada Demirci-Pro projesi kapsamında düşük enerjili demet aktarım hattında kullanılmak üzere SMQMDesigner isimli program yazılmıştır ve Poisson/ Superfish yazılımı ile etkileştirilmiştir. Programın grafik arayüzü ROOT ile birlikte çalışmaktadır ve istenilen tasarıma yönelik olarak Sarmal (solenoid) ve dört kutuplu (quadrupole) mıknatıs grafik arayüzleri vardır. Seçilen arayüzde girilen parametreler kullanılarak C++ kodları yardımıyla mıknatıs tasarımı yapılmıştır.

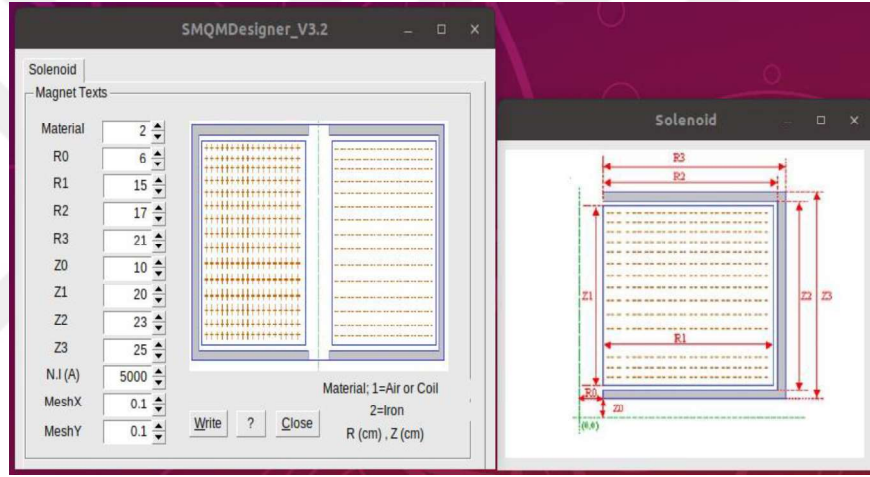
2B tasarım yapılırken istenilen özelliklere göre geometri, malzeme ve akım değerleri değiştirilir ve Superfish programının sağladığı Poisson denklemi çözümleriyle manyetik alan dağılımı elde edilir.

3.1. Tasarım Parametreleri

Bu alt bölümde sarmal mıknatıs, dört kutuplu ve altı kutuplu mıknatıs tasarım parametreleri hakkında bilgi verilmektedir. SMQMDesigner programının kullanıcı arayüzünde yer alan kısaltmalar ve tuşların komutları açıklanmaktadır.

3.1.1. Sarmal mıknatıs parametreleri

Sarmal (solenoid) mıknatıs ekranı, tasarım yapılması için gerekli verilerin girildiği bir ekrandır (bakınız Şekil 3.1). Sarmal mıknatısın fiziksel ölçüleri bu ekranda belirtilebildiği gibi bobinler (coils) üzerinden geçecek akım değerleri de girilebilir. MeshX ve MeshY bilgileri ise manyetik alan dağılımının x ve y yönünde hangi aralıklarla gösterileceğini belirler. Bu tasarım ekranında;



Şekil 3.1. Programın sarmal mıknatıs (solenoid) seçim menüsü

Materyal: 1 ile gösterilen hava veya bobin, 2 ise demir olduğu bilgisi verilir.

R1-R2-R3: Demet doğrultusuna dik yöndeki uzunluklardır.

Z1-Z2-Z3: Demet doğrultusundaki uzunluklardır.

Akım değeri: N.I ile hesaplanır.

Yardım için '?' tuşuna basıldığında sarmal mıknatısın yarısının parametreleri ve bunların tasarım üzerinde ifade ettiği bölgeleri gösterilmektedir (Şekil 3.1'de sağda yer alan ekrandır). Sarmal mıknatıs ekranında 'Write' tuşuna basıldığında mevcut bulunan tasarım parametreleri çıktı dosyasına (solenoidx.sf) yazılır, 'Close' düğmesi ise SMQMDesinger_V3.2 ekranının kapanmasını sağlar.

3.1.2. Dört kutuplu mıknatıs parametreleri

Dört kutuplu mıknatıs tasarım ekranı, gerekli verilerin girildiği kullanıcı arayüzüdür (bakınız Şekil 3.2). Bu tasarım ekranında;

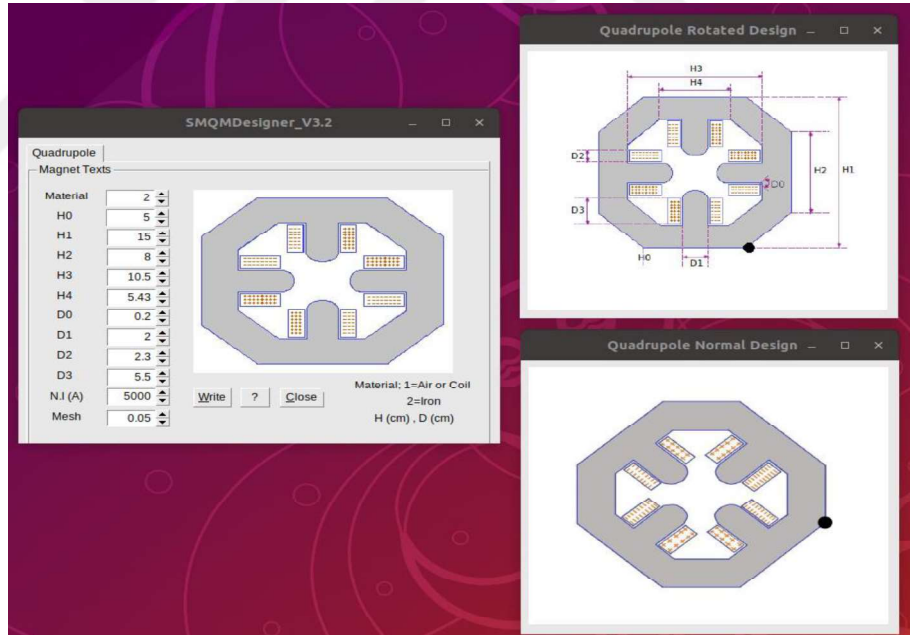
Materyal:1 ile gösterilen hava veya bobin, 2 ise demir olduğu bilgisi verilir.

H1-H2-H3: Dört kutuplu dış kısım uzunluklarıdır.

D1-D2-D3: sarımların ve iç kısımlarının ölçüleridir.

Akım değeri: N.I ile hesaplanır, fiziksel ölçülerini bu ekranda belirleyebildiğimiz gibi bobinler (coils) üzerinden geçecek akım değerlerini de belirtebiliriz.

Bobinler üzerinden geçen akım değeri olarak tek bir akım değeri girilir, simetrik alan dağılımı elde etmek için, bu bobinler özdeş ancak akım yönleri tasarıma göre farklılık göstermektedir. Mesh bilgisi ise manyetik alan dağılımının hangi aralıklarla gösterileceğini belirler.



Şekil 3.2. Programın dört kutuplu (quadrupole) seçim menüsü

Dört kutuplu ekranında 'Write' tuşuna basıldığında mevcut bulunan tasarım parametreleri çıktı dosyasına (quadrupolx.sf) yazılır. Yardım için '?' tuşuna basıldığında Şekil 3.2'de sağda yer alan ekran görüntülerinde olduğu gibi hem normal hem de döndürülmüş dört kutuplu parametrelerini ve bu değerlerin tasarım üzerinde ifade ettiği

bölgeleri gösterilmektedir. ‘Close’ tuşu ise SMQMDesigner_V3.2 ekranının kapanmasını sağlar.

3.1.3. Altı kutuplu mıknatıs parametreleri

SMQMDesigner_V3.2 kullanıcı arayüzü, TÜBİTAK projesinde yer alan Demirci-Pro adlı programın düşük enerjili demet aktarım hattında sarmal ve dört kutuplu mıknatıs tasarımlarını içerir. Bu tez çalışmasında bu iki mıknatıs tasarımına ek olarak hızlandırıcılarda kullanılan altı kutuplu mıknatıs tasarımına da yer verilmektedir.

3.2. Programın Kod Kısmı

Program ‘solenoid_main()’ veya ‘quadrupole_main()’ fonksiyonunu çağırdığında parametreleri tanımlanmış sarmal veya dört kutuplu mıknatıs tasarımı için gerekli dosyalar oluşturulur.

3.2.1. Sarmal mıknatıs

Sarmal mıknatıs tasarımı için C++ programlama diliyle yazılan ve Superfish programının çalıştırabileceği kod dizisi;

```
Solenoid magnet

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";

...

// orta bölgedeki noktaların dosyaya yazılması
fileout <<"&reg mat="<<mat2 <<" "<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0 <<" y="<<z_0<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0+r_3<<" y="<<z_0<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0+r_3 <<" y="<<z_0+z_3<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0 <<" y="<<z_0+z_3<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0 <<" y="<<z_0+z_3-(z_32/2)<<"&"<<endl;
fileout <<"&po x="<<r_0+r_2 <<" y="<<z_0+z_3-(z_32/2)<<"&"<<endl;
```

```

fileout <<"&po x="<< r_0+r_2 << ", y=" <<z_0+(z_32/2) << " &" << endl;
fileout <<"&po x="<< r_0 << ", y=" <<z_0+(z_32/2) << " &" << endl;
fileout <<"&po x="<< r_0 << ", y=" << z_0<< " &" << endl;
fileout << "\n";
...
// bobinler için noktaların yazılması
fileout <<"&reg mat="<<mat1 << ", " << "cur=" << cur << ", " << " &" << endl;
fileout <<"&po x=" <<r_0<< ", y=" << z_0+z_32/2+z_21/2 << " &" << endl;
fileout <<"&po x="<<r_0+r_1<< ", y="<< z_0+z_32/2+z_21/2 << " &" << endl;
fileout <<"&po x="<< r_0+r_1 << ", y="<< z_0+z_32/2 +z_21/2+z_1 << " &" <<
endl;
fileout <<"&po x="<<r_0<< ", y="<< z_0+z_32/2+z_21/2+z_1 << " &" << endl;
fileout <<"&po x=" << r_0 << ", y="<< z_0+z_32/2+z_21/2 << " &" << endl;
... }

```

Çıktı olarak solenoidx.sf dosyası yazılır. Tasarım yapılırken demirin olduğu bölgeler ve sarımların yerleri kodda tek tek nokta olarak belirtilir, bunun sebebi Poisson/Superfish programı verileri nokta üzerinden almasıdır. Poisson/Superfish çıktısı olarak ekranda manyetik alan dağılımları elde edilir. Sarmal mıknatıs tasarımı için hazırlanan Poisson/Superfish girdi dosyasının bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```

...
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 &
&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 &

....



Şekil 3.3. Sarmal mıknatıs tasarımı için konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda)

3.2.2. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs

Dört kutuplu tasarım ekranı, girilen değerlere göre iki tasarım vermektedir. Daha önce Bölüm 2’de anlatıldığı üzere mıknatısların kullanım amaçlarına göre normal ve döndürülmüş olarak iki seçenek vardır. Burada ‘quadrupole_main()’ fonksiyonu çağrıldığında girilen parametre değerlerine göre dört kutuplu mıknatıs tasarımı için gerekli dosya hazırlanır. Tasarım kodunun yapısı kısmi olarak aşağıda verilmiştir.

```
QuadrupoleR Magnet

fileout1 <<"QuadrupoleR Magnet" << endl;

fileout1<<"&regkprob=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";

...

// orta bölgedeki noktaların dosyaya yazılması
fileout1 <<"&reg mat="<<mat1<<" , "<<"&" << endl;

fileout1 <<"&po x=" <<-h_4 <<" , y=" <<-h_3 <<" &" << endl;

fileout1 <<"&po x=" <<-h_3 <<" , y=" <<-h_4 <<" &" << endl;

fileout1 <<"&po x=" <<-h_3 <<" , y=" <<-d_1 <<" &" << endl;

fileout1 <<"&po x=" <<-h_3+h_0 <<" , y=" <<-d_1 <<" &" << endl;

fileout1<<"&po nt="<<2 <<" , x0="<<-h_3+h_0 <<" , y0=" <<h_4-h_4 <<" ,
r=" <<d_1 <<" , theta=90." <<" &" << endl;
```

```

fileout1 << "&po x=" << -h_3 << " , y=" << d_1 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3 << " , y=" << h_4 << " &" << endl;
// bobinler için noktaların yazılması
fileout1 << "&reg mat=" << mat1 << " , cur=" << cur << " , " << "&" << endl; // sag alt
coil
fileout1 << "&po x=" << -h_3+d_0 << " , y=" << -d_1-d_0 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3+h_0+d_0 << " , y=" << -d_1-d_0 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3+h_0+d_0 << " , y=" << -d_1-d_0-d_2 << " &" <<
endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3+d_0 << " , y=" << -d_1-d_0-d_2 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3+d_0 << " , y=" << -d_1-d_0 << " &" << endl;
... }

```

Çıktı olarak quadrupolrx.sf dosyası yazılır. Her bir değer nokta olarak verilmektedir ancak SMQMDesigner kullanıcı arayüzünde bu değerler nokta değil uzunluk olarak girilir. Bunun sebebi ise tamamen kullanıcıya tasarım yaparken kolaylık sağlamak içindir. Bu dosyanın içinde Poisson/Superfish programının kullanacağı parametre değerleri bulunmaktadır ve program çıktısı olarak ekranda manyetik alan dağılımları elde edilir. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı için hazırlanan Poisson/Superfish girdi dosyasının bir kısmı aşağıda verilmiştir;

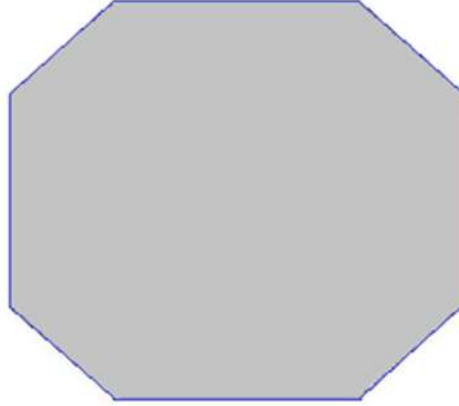
```

...
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 &
&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 &

....



Şekil 3.4. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs dış tasarımı için konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda)

3.2.3. Normal dört kutuplu mıknatıs

Burada normal tasarım ile döndürülmüş tasarım arasında saat yönünün tersi yönde 45°'lik bir açı vardır. Döndürülmüş dört kutupluda yer alan her bir nokta kod içerisinde de dönüşüm matrisleriyle döndürülerek (ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te yer almaktadır) normal dört kutuplu tasarım kod dizisi elde edilir.

```
QuadrupoleN Magnet
double rota=0.7071;

fileout2 <<"QuadrupoleN Magnet" << endl;

fileout2<<"&regkprob=0,"<<"mode=-1,"<<"kmax=1000,lmax=1000,
"<<"mat="<<mat1<<" " <<"icylin=0, "<< endl;

fileout2<<"nbslo=0,"<<"nbsup=0,"<<"nbslf=0,"<<"nbsrt=0, " <<"dx="<<mesh
<<" " <<"dy="<<mesh <<"&" << endl;

fileout2<<"\n";

...

// orta bölgedeki noktaların dosyaya yazılması

fileout2 <<"&reg mat="<<mat1<<" " <<"&" << endl;

fileout2 <<"&po x=" << (-h_4)*rota-(-h_3)*rota <<" y=" <<(-h_4) *rota +(-
h_3 )*rota <<" &" << endl;

fileout2 <<"&po x=" << (-h_3)*rota-(-h_4)*rota <<" y=" <<(-h_3) *rota+(-
h_4)*rota <<" &" << endl;

fileout2 <<"&po x=" << (-h_3)*rota-(-d_1)*rota <<" y=" <<(-h_3) *rota+(-
d_1)*rota <<" &" << endl;
```

```

fileout2 <<"&po x=" << (-h_3+h_0)*rota-(-d_1 )*rota <<" , y=" << (-
h_3+h_0)*rota+(-d_1)*rota << " &" << endl;

fileout2 << "&po nt="<< 2 << " , x0="<< (-h_3+h_0)*rota-(h_4-h_4)*rota <<
" , y0=" << (-h_3+h_0)*rota+(h_4-h_4)*rota <<" , r=" << d_1 <<" , theta=135." <<"
&" << endl;

fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(d_1)*rota << " , y=" << (-
h_3)*rota+(d_1)*rota << " &" << endl;

fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(h_4)*rota << " , y=" << (-
h_3)*rota+(h_4)*rota << " &" << endl;

...

// bobinler için noktaların yazılması

fileout2 <<"&reg mat="<<mat1<<" , cur="<<cur<<" , " <<"&" << endl;

fileout2 <<"&po x="<< (-h_3+d_0)*rota-(-d_1-d_0) *rota << " , y=" << (-
h_3+d_0)*rota+(-d_1-d_0)*rota << " &" << endl;

fileout2 <<"&pox="<<(-h_3+h_0+d_0)*rota-(-d_1-d_0) *rota <<" , y=" <<(-
h_3+h_0+d_0)*rota+(-d_1-d_0)*rota << " &" << endl;

fileout2 << "&pox="<<(-h_3+h_0+d_0)*rota-(-d_1-d_0-d_2)*rota<<" ,
y="<<(-h_3+h_0+d_0)*rota+(-d_1-d_0-d_2)*rota << " &" << endl;

fileout2 <<"&pox="<<(-h_3+d_0)*rota-(-d_1-d_0-d_2) *rota<<" , y="<<(-
h_3+d_0)*rota+(-d_1-d_0-d_2)*rota << " &" << endl;

fileout2 <<"&po x=" <<(-h_3+d_0)*rota-(-d_1-d_0) *rota<< " , y=" << (-
h_3+d_0)*rota+(-d_1-d_0)*rota << " &" << endl;

fileout2 <<"\n";

... }

```

Çıktı olarak quadrupolnx.sf dosyasına yazılır. Bu dosyanın içinde Poisson/Superfish kullanacağı parametre değerleri bulunmaktadır. Poisson/Superfish çıktısı olarak ekranda manyetik alan dağılımları elde edilir. Dört kutuplu mıknatıs tasarımı için hazırlanan Poisson/Superfish girdi dosyasının bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```

...

QuadrupoleN 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 &

&reg mat=2, &

&po x=4.9497, y=-16.2633 &

&po x=16.2633, y=-4.9497 &

```



```

&po x=16.2633, y=4.9497 &
&po x=4.9497, y=16.2633 &
&po x=-4.9497, y=16.2633 &
&po x=-16.2633, y=4.9497 &
&po x=-16.2633, y=-4.9497 &
&po x=-4.9497, y=-16.2633 &
&po x=4.9497, y=-16.2633 &
...

```

3.2.4. Altı kutuplu mıknatıs

Altı kutup mıknatıs tasarımı için hazırlanan Poisson/Superfish girdi dosyasının bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```

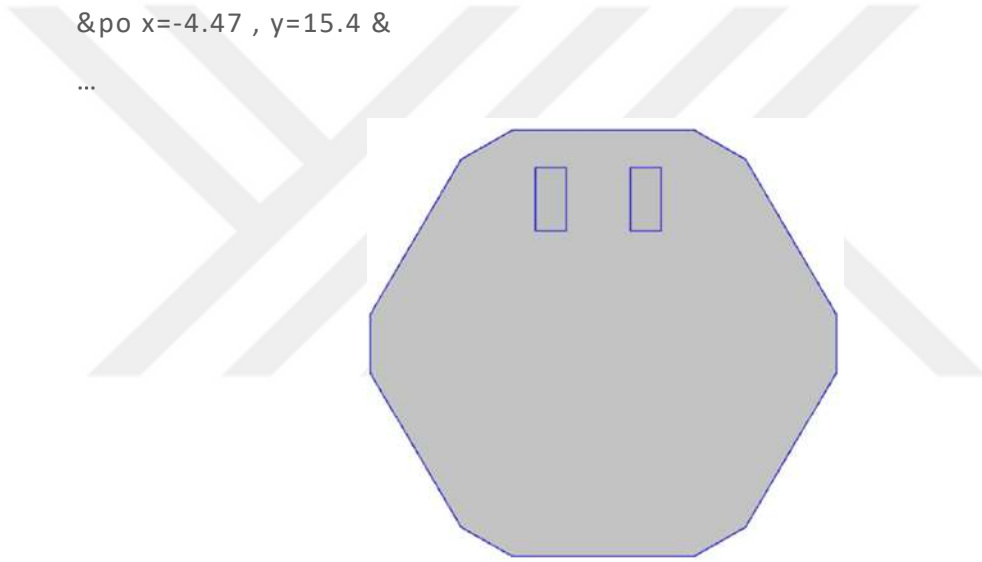
...
Sextupole Magnet
&reg kprob=0, mode=-1, kmax=1000, lmax=1000, mat=1, icylin=0,
nbslo=0, nbsup=0, nbslf=0, nbsrt=0, dx=0.02, dy=0.02 &
&reg mat=2, &
&po x=-7.71 , y=18.368 &
&po x=7.71 , y=18.368 &
&po x=12.052 , y=15.861 &
&po x=19.762 , y=2.507 &
&po x=19.762 , y=-2.507 &
&po x=12.052 , y=-15.861 &
&po x=7.71 , y=-18.368 &
&po x=-7.71 , y=-18.368 &
&po x=-12.052 , y=-15.861 &
&po x=-19.762 , y=-2.507 &
&po x=-19.762 , y=2.507 &
&po x=-12.052 , y=15.861 &
&po x=-7.71 , y=18.368 &
! üst sağ bobin
&reg mat=1, cur=-5000, &
&po x=4.47 , y=15.4 &

```

```

&po x=2.37 , y=15.4 &
&po x=2.37 , y=10.4 &
&po x=4.47 , y=10.4 &
&po x=4.47 , y=15.4 &
! üst sol bobin
&reg mat=1, cur=5000, &
&po x=-4.47 , y=15.4 &
&po x=-2.37 , y=15.4 &
&po x=-2.37 , y=10.4 &
&po x=-4.47 , y=10.4 &
&po x=-4.47 , y=15.4 &
...

```



Şekil 3.5. Altı kutuplu mıknatıs dış tasarımı ve bir bobinin konum parametreleri (solda) ve geometrisi (sağda)

3.3. Programın Çıktı Dosyaları

Poisson/Superfish programı, 2B kartezyen koordinatlarda veya eksensel simetrik silindirik koordinatlarda statik elektromanyetik alanların ve radyo frekanslı alanların hesaplanması için bir program topluluğudur. Bu programlar problem geometrisinde farklı malzemeler kullanılarak çözümleme olanağı sağlar. Grafik programları ve diğer kodlar elde edilen sonuçları çeşitli şekillerde gösterir (Halbach, 1976).

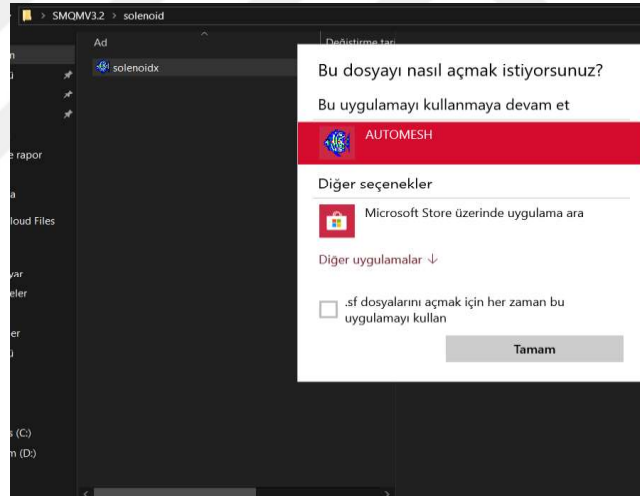
Poisson programı durgun elektromanyetik alanlar için bir çözücü programdır. Girdi dosyasında KPROB = 0 olarak belirtilmiş problemler için Automesh'ten sonra çalışır. Program Automesh'in başlattığı ikili sistem dosyasını okur ve aynı dosyaya çözümleri yazar. Çözüm her çokgen ağ noktası için skaler ya da vektör potansiyelden oluşur.

Poisson programı tüm çıktılarını OUTPOL.TXT adında bir dosyaya yazar (Halbach, 1976).

SF7⁵ çizim programı çizgiler, yaylar, dörtgen ızgaralar veya kullanıcı tanımlı eğriler üzerindeki alanlar için ara değer saptama (interpolation) yapan bir programdır. Bu program, Poisson çözücü programlarca oluşturulmuş ikilik çözüm dosyasını okur ve problem geometrisinin belirlenen bölgesi için, ara değerleri hesaplanmış alan değerlerini OUTSF7.TXT dosyasına yazar (Halbach, 1976).

3.3.1. Sarmal mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları

Bir sarmal mıknatıs içinde manyetik alan yaklaşık olarak düzgündür, mıknatısın dışında ise zayıf ve ıraksaktır. Düzgün manyetik alan yaklaşık olarak $B=\mu_0 knI$ ile verilir. Burada $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$ Tesla/Amper.m; k bağlı geçirgenlik, n birim uzunluk başına sarım sayısı ve I amper cinsinden akım değeridir. Sarmal mıknatısın içinde ve dışında manyetik alan Poisson / Superfish kullanılarak hesaplanabilir.

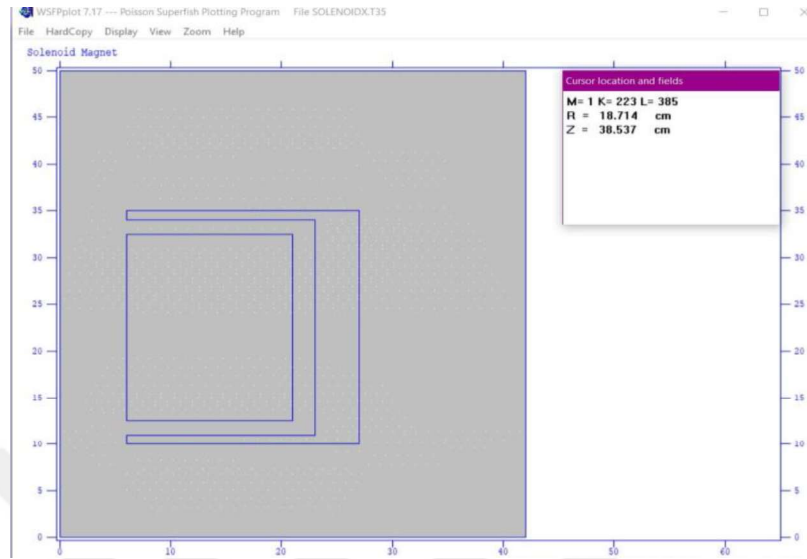


Şekil 3.6. Sarmal mıknatıs için oluşturulan .sf dosyası Automesh ile çalıştırılır

Poisson / Superfish ile sarmal tasarımı için kullanılan geometriyi elde etmek üzere .sf uzantılı dosya Automesh ile açılır, SOLENOIDX dosyası oluşturulur. Oluşturulan SOLENOIDX dosyası açılırsa tasarlanan sarmal tasarımın r-z eksenlerindeki konumu ve seçilen malzeme hakkında bilgi veren ekran karşımıza çıkar. Tasarımda silindirik koordinatlar kullanıldığı için tasarımın yarısı ekranda gösterilir.

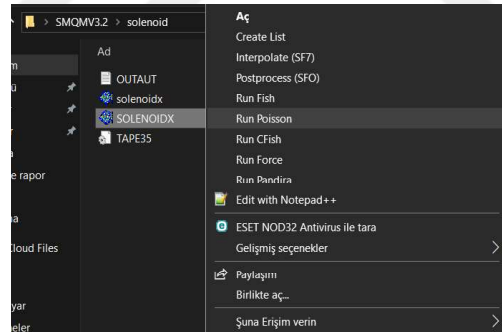
⁵ SF7 programı, kullanıcı tarafından sağlanan eğriler boyunca alanlar arası değer sapma hesabı yapmayı sağlar.

Eğer oluşturulan şeklin istenilen bir noktasına gelinirse bu noktanın koordinat (r-z) verileri ve malzeme yapısı (M) hakkında bilgi ekranda çıkan küçük pencerede gösterilir.



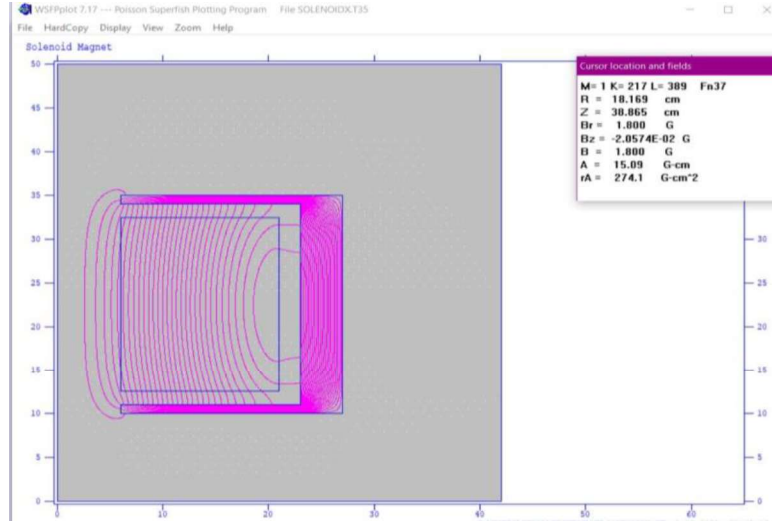
Şekil 3.7. Sarmal mıknatıs tasarımında kod içerisinde silindirik simetri kullanıldığı için şeklin yarısı gösterilir

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda “Display” ve “View” seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi alınabilir.



Şekil 3.8. Sarmal mıknatısın Poisson programı ile çözüm yapması için Run Poisson komutu seçilir

SOLENOIDX dosyası “Run Poisson” komutu ile çalıştırılır, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, oluşturduğumuz tasarım için Poisson denklemleri çözülüp manyetik alan çizgilerinin elde edildiği çözüm (solution) dosyası oluşturulur. Dosyanın ismi değişmeden kalır ancak tasarım üzerinde manyetik alan çizgileri görülür. “Interpolate (SF7)” komutuna basılması tasarımımızın koordinat sistemi hakkında bilgi edinmemizi sağlar.



Şekil 3.9. Sarmal mıknatısın tasarımı üzerinde manyetik alan dağılımı

Çözüm (solution) dosyası, Poisson ile çözümlemenden elde edilen grafik ve tasarım dosyalarıdır. Bu çözümlemenin sonucunda, tasarım yapılırken belirlenen akım değerleri ve bobin (coil) yerleştirilen yerleri baz alarak akım yönlerinin belirlenmesiyle tasarım üzerinde görülebilir.

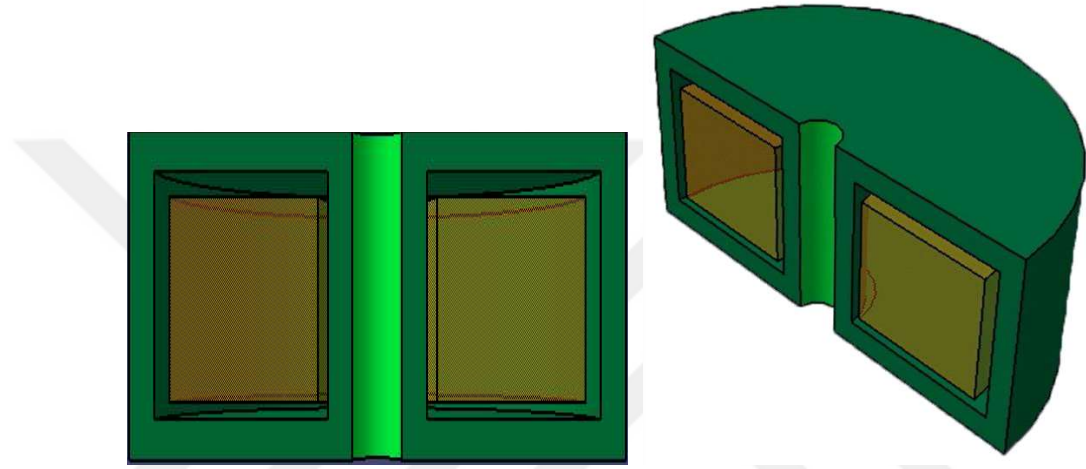
Seçtiğimiz her bir nokta için manyetik alanı ve manyetik alanın r-z bileşenlerinin sayısal değerleri, her bir koordinat değeri, malzeme bilgisini ve tasarımdaki manyetik alan çizgileri birlikte görülebilir (bakınız Şekil 3.9).



Şekil 3.10. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Bx ve By bileşenlerinin konuma (Z) bağlı grafiği

“OUTPOI” olarak elde edilen dosyadan sarmal mıknatıs tasarımında manyetik alanın (r-z bileşenlerinin) konuma göre değişimi grafiği elde edilir (bakınız Şekil 3.10). Bu dosya ise Tablplot girdi dosyası biçimindedir.

Superfish programı 2B tasarım yapılmasını sağlayan bir programdır. SMQMDesigner arayüzünde yapılan sarmal mıknatıs tasarımı ile elde edilen Superfish programı için girdi dosyasında yer alan veriler, 3B tasarım için CATIA adlı çizim programı için girdi verileri olarak kullanılabilir (bakınız Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Sarmal mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın yarısının dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın yarısının üst görüntüsü (sağda)

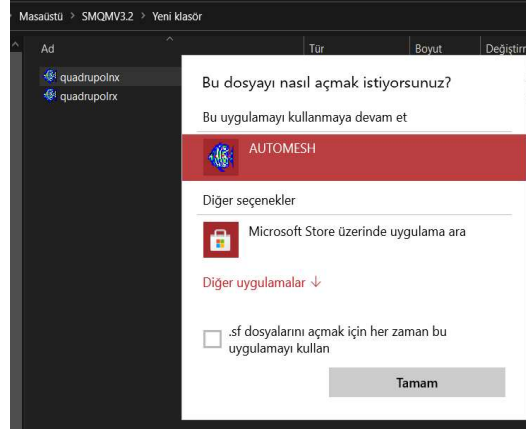
3.3.2. Dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları

SMQMDesigner arayüzü kullanılarak elde edilen tasarım Superfish programı ile açılarak hem tasarımın ölçüleri hem de manyetik alan dağılımı incelenebilir. Bu bölümde dört kutuplu mıknatısın Superfish dosyası ile çalıştırılması ve grafiklerinin elde edilmesi üzerine durulmaktadır.

3.3.2.1. Normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları

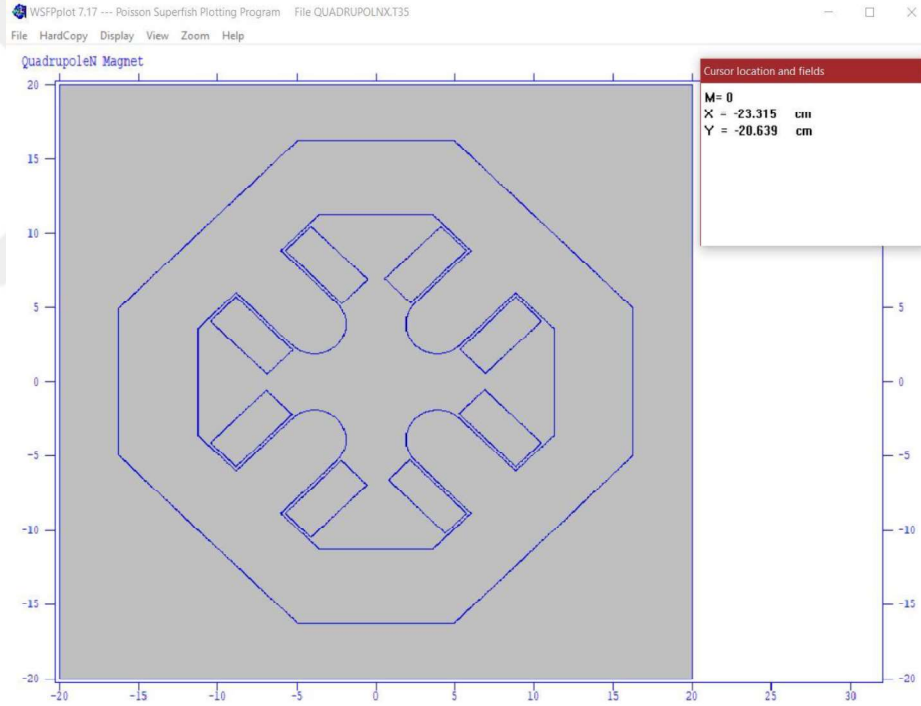
Dört kutuplu mıknatıs tasarımında geometri üzerinde alan dağılımları baz alındığında tasarımın merkezinde ve tasarım ile sınırlandırılan bölgenin dışında manyetik alan değeri sıfırdır. Bunun sebebi manyetik alanın olduğu bölgelerde manyetik alan yönelimlerini seçerken merkezde bu alan değerinin sıfır olacak şekilde seçilmesidir.

Normal dört kutuplu tasarımında Şekil 3.12’de görüldüğü gibi Automesh komutu seçilerek Superfish programı tarafından çalıştırılır. Aynı zamanda girilen verilerin tasarım yapılmadan veya yapıldıktan sonra incelenmesi için .sf uzantılı dosya herhangi bir metin düzenleyici ile açılabilir.



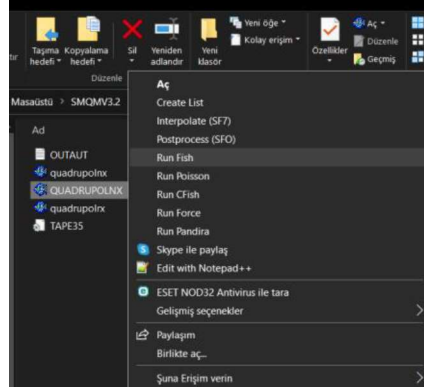
Şekil 3.12. Normal dört kutuplu mıknatısın oluşturulan .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır

Oluşturulan quadrupolnx dosyası açılırsa tasarlanan dört kutuplunun x-y eksenlerindeki konumu ve seçilen malzeme hakkında bilgi veren ekran karşımıza çıkar.



Şekil 3.13. Normal dört kutuplu mıknatısın geometrisi

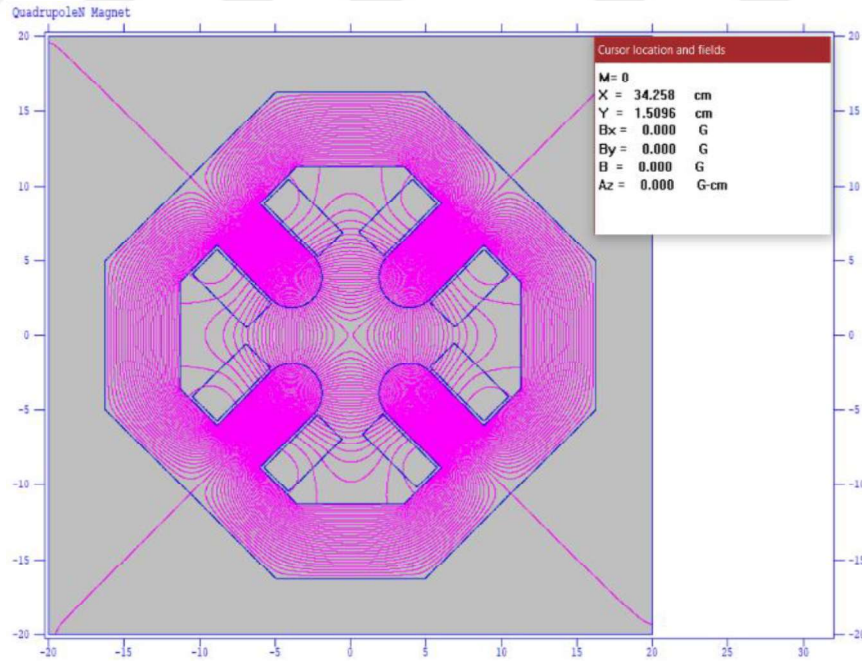
Poisson / Superfish ile dört kutuplu tasarımı için kullanılan geometri Şekil 3.13'te verilmiştir. Eğer oluşturulan şeklin istenilen bir noktasına gelinirse bu noktanın koordinat (x-y) verileri ve malzeme yapısı (M) hakkında bilgi ekranda çıkan küçük pencerede gösterilir. Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda “Display” ve “View” seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilir.



Şekil 3.14. Normal dört kutuplu mıknatısın tasarımı için Poisson çözümünün başlatılması

QUADRUPOLNX dosyasını “Run Poisson” komutu ile oluşturduğumuz tasarımda manyetik alan dağılımı için Poisson denklemleri çözülür (bakınız Şekil 3.14). Sonuç olarak manyetik alan çizgilerinin elde edildiği “Poisson Superfish solution” dosyası oluşur. “Interpolate (SF7)” komutuna basıldığında ise tasarımın koordinat sistemi hakkında bilgi verir.

QUADRUPOLNX dosyasından “Run Poisson” komutu verildikten sonra elde edilen verilerin çizdirilmesi sonucu Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



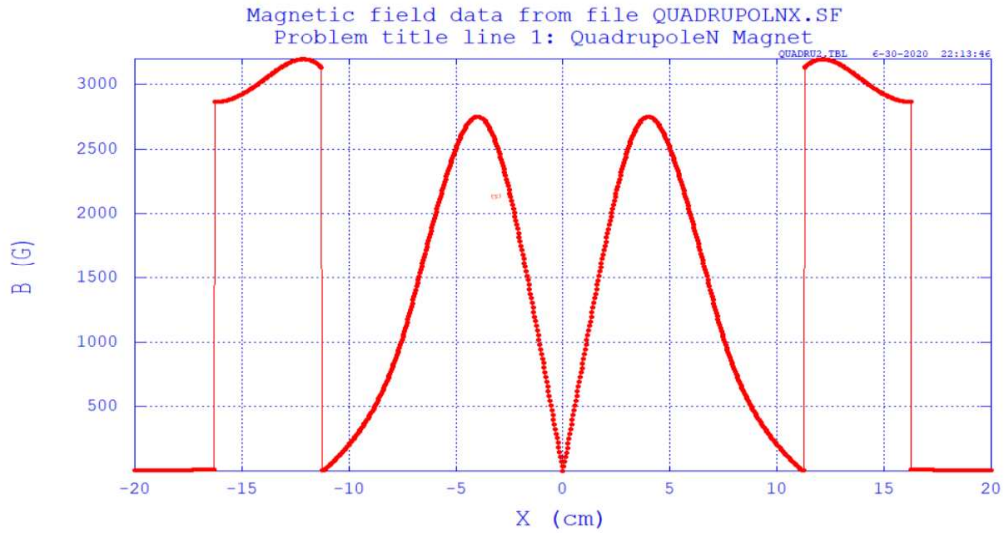
Şekil 3.15. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi

QUTPOI VE QUADRUPOLNX dosyaları Poisson Superfish ‘solution’ dosyasının Poisson ile çözülmesinden elde edilen grafik ve tasarım dosyalarıdır. Bu çözümlemenin

sonucunda tasarım yapılırken belirlenen akım değerleri ve bobinlerin (coil) yerleri baz alınarak akım yönlerinin çözümlenmesiyle tasarım üzerinde görmeyi sağlar.

Seçtiğimiz her bir nokta için manyetik alan ve manyetik alanın x-y bileşenlerinin sayısal değerleri, her bir koordinat değeri ve malzeme bilgisi tasarımdaki manyetik alan çizgileri ile birlikte gösterilir.

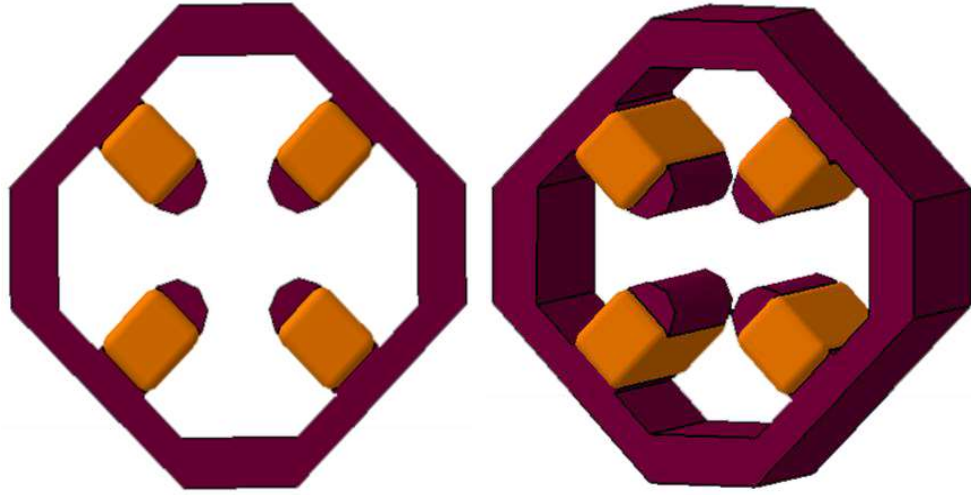
Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda ‘Display’ ve ‘View’ seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinebiliriz. Dört kutuplu mıknatıs tasarımında geometri üzerinde alan dağılımları (dörtte bir kesiti ile) manyetik alan çizgilerinin yönünü ve manyetik alan çizgilerinin yoğun olduğu ve olmadığı yerleri görebiliriz.



Şekil 3.16. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alanın büyüklüğünün $|B|$ konuma (X) bağlı grafiği

‘OUTPOI’ olarak elde edilen bu dosya dört kutuplu mıknatıs tasarımında manyetik alanın büyüklüğünün konuma göre değişimi grafiği Şekil 3.16’daki gibi elde edilir ve ‘Tablplot input’ dosya türüne sahiptir.

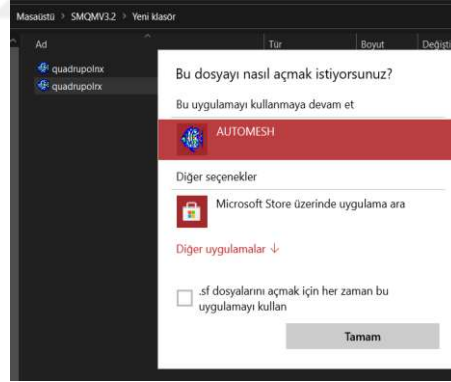
SMQMDesigner arayüzünde yapılan normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı ile elde edilen Superfish programı için girdi dosyasında yer alan veriler, 3B tasarım için CATIA adlı çizim programı için girdi verileri olarak kullanılarak elde edilen tasarım Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. Normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda)

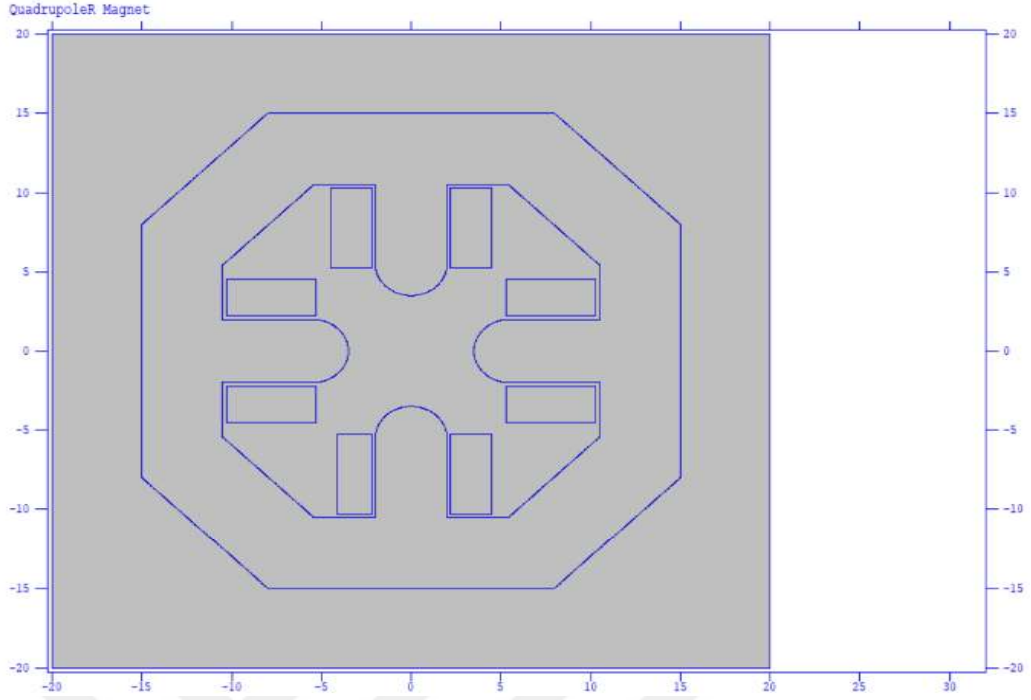
3.3.2.2. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları

Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı, normal dört kutuplu mıknatıs tasarımının .sf girdi dosyası üzerinde geometri noktalarının x-y koordinatlarını 2x2'lik döndürme matrisi ile x'-y' koordinatları bulunmasıyla bu .sf girdi dosyası hazırlanır. Poisson SuperFish çalıştırılarak manyetik alan dağılımları elde edilir.



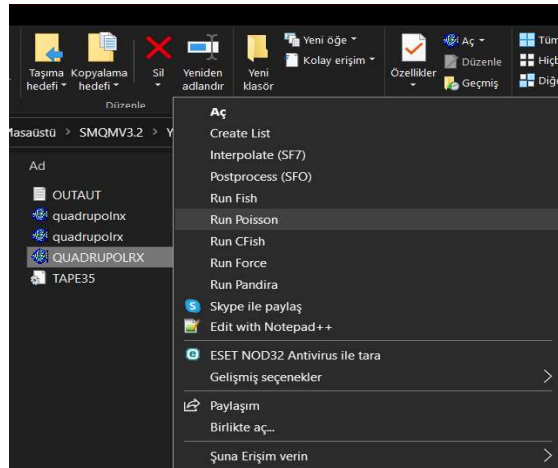
Şekil 3.18. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır

Oluşturulan quadrupolrx dosyası açılırsa tasarlanan dört kutuplunun x-y eksenlerindeki konumu ve seçilen malzeme hakkında bilgi veren ekran karşımıza çıkar.



Şekil 3.19. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın geometrisi

Poisson / Superfish ile dört kutuplu tasarım için kullanılan geometri Şekil 3.19’da gösterilmiştir. Oluşturulan şeklin istenilen bir noktasına gelinirse bu noktanın koordinat (x-y) verileri ve malzeme yapısı (M) hakkında bilgi ekranda çıkan küçük pencerede gösterilir. Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda ‘Display’ ve ‘View’ seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinebiliriz.

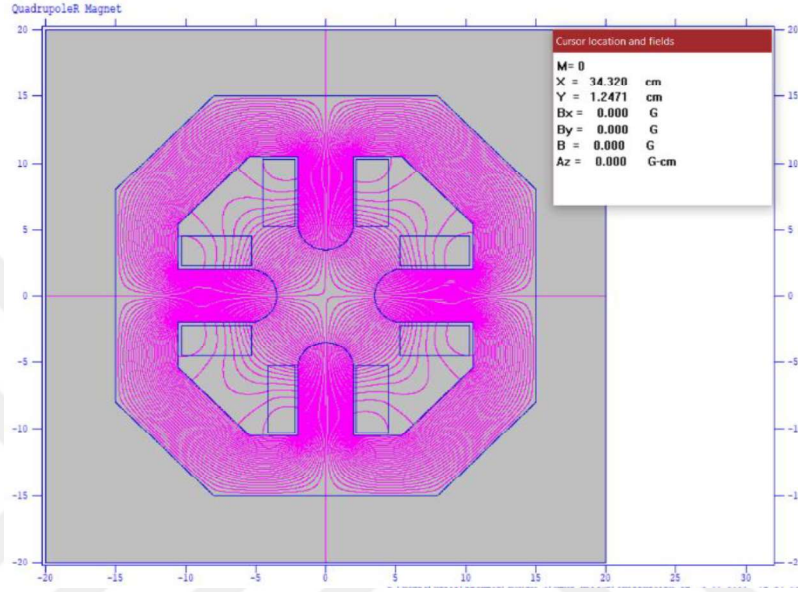


Şekil 3.20. Döndürülmüş dört kutuplu tasarım için Poisson çözümünün başlatılması

QUADRUPOLRX dosyasını “Run Poisson” komutu ile oluşturduğumuz tasarımda manyetik alan dağılımı için Poisson denklemleri çözülür (bakınız Şekil 3.20).

Sonuç olarak manyetik alan çizgilerinin elde edildiği “Poisson Superfish solution” dosyası oluşur. “Interpolate (SF7)” komutuna basıldığında ise tasarımın koordinat sistemi hakkında bilgi verir.

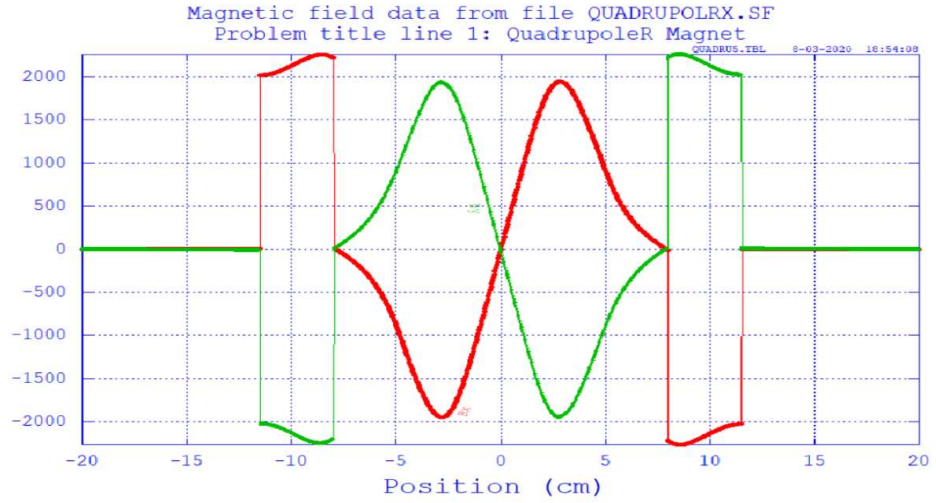
QUADRUPOLRX dosyasının “Run Poisson” komutundan sonra karşımıza çıkan ekranı Şekil 3.21’de olduğu gibi sonuçlar verir.



Şekil 3.21. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi

QUTPOI ve QUADRUPOLRX dosyaları Poisson Superfish solution dosyasının Poisson ile çözülmesinden elde edilen grafik ve tasarım dosyalarıdır. Bu çözümlemenin sonucunda tasarım yapılırken belirlenen akım değerleri ve bobinlerin (coil) yerleştirilen yerlerine göre akım yönleri çözümlenerek tasarım üzerinde görülebilir.

Seçtiğimiz her bir nokta için manyetik alanı ve manyetik alanın B_x - B_y bileşenlerinin sayısal değerlerini, her bir koordinat değerini ve malzeme bilgisiyle tasarımıdaki manyetik alan çizgileri ile birlikte gösterilen tasarımı görebiliriz.

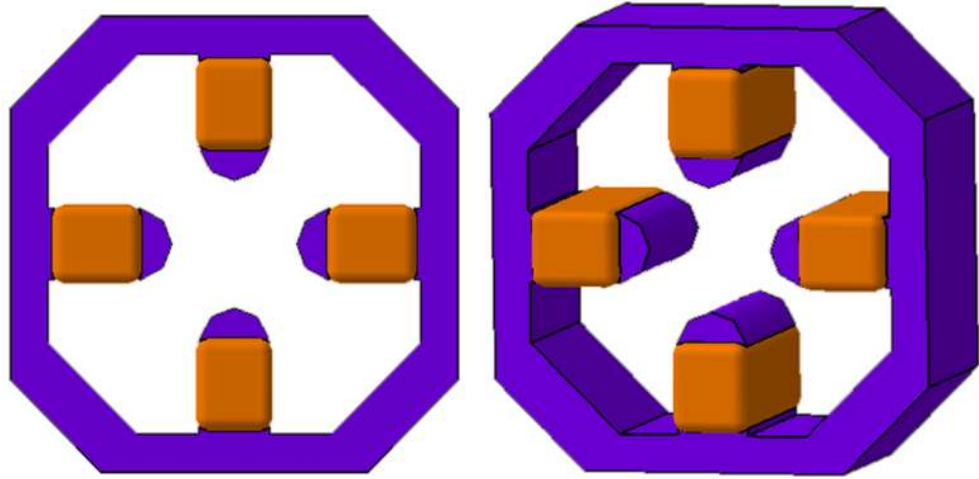


Şekil 3.22. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alanın B_x ve B_y bileşenlerinin konuma (Position) bağlı grafiği

Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda “Display” ve “View” seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinebiliriz. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımında geometri üzerinde alan dağılımları (dörtte bir kesiti ile) manyetik alan çizgilerinin yönünü ve manyetik alan çizgilerinin yoğun olduğu ve olmadığı yerleri görebiliriz.

“OUTPOI” olarak elde edilen bu dosya dört kutuplu mıknatıs tasarımında manyetik alanın (B_x - B_y bileşenlerinin) konuma göre değişimi grafiği Şekil 3.22’de olduğu gibi elde edilir ve “Tablplot input” dosya türüne sahiptir.

SMQMDesigner arayüzünde yapılan döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı ile elde edilen Superfish programı için girdi dosyasında yer alan veriler, 3B tasarım için CATIA adlı çizim programı için girdi verileri olarak kullanılırsa Şekil 3.23’teki tasarım elde edilir.

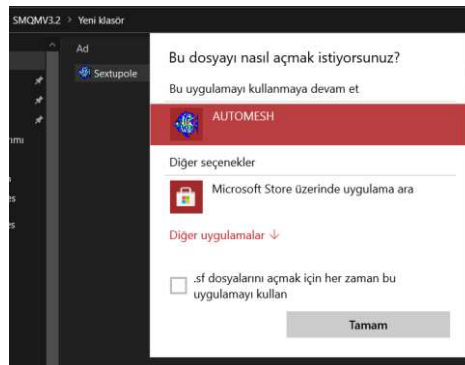


Şekil 3.23. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda)

3.3.3. Altı kutuplu mıknatıs tasarımı için çıktı dosyaları

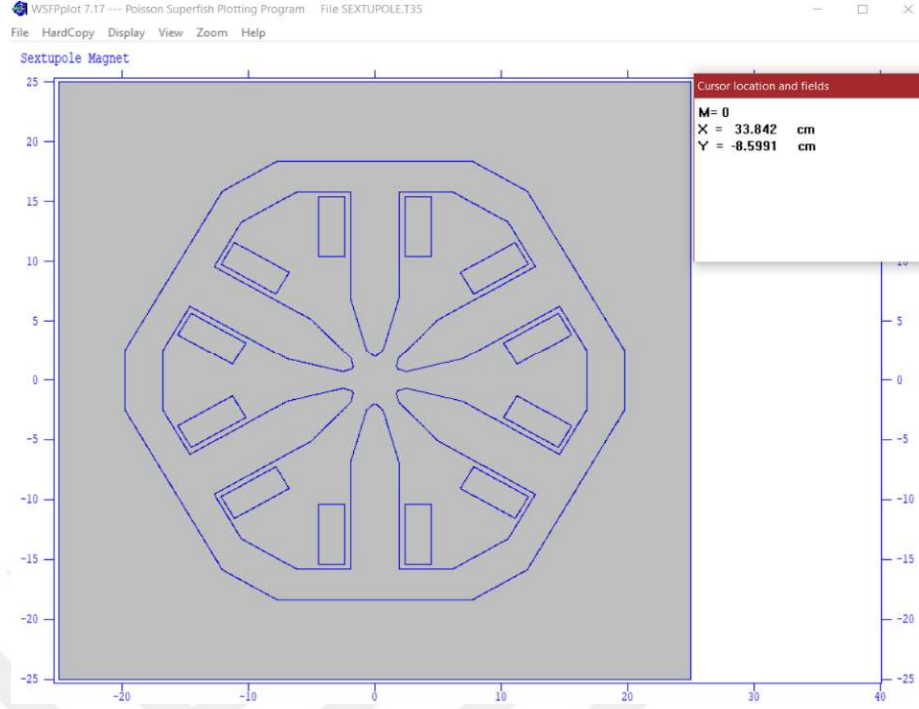
Altı kutuplu mıknatıs tasarımında altı kanat ve bu kanatlar etrafına sarımlar yerleştirilerek elde edilen bir tasarım söz konusudur. Altı kutuplu mıknatıslar kullanım amacına göre düzeltici (corrector) veya itici (kicker) mıknatıs olarak kullanıldığı için tasarımın bobinlerinden geçen akımların yönleri farklılık göstermektedir. Burada altı kutuplu mıknatıs, dört kutuplu mıknatısın kromatik etkilerini düzeltmek için tasarlanmıştır. Bunun sonucunda her iki kanat arasında yer alan bobinlerdeki akımların işaretleri aynı olacak şekilde seçilmiştir.

Altı kutuplu mıknatıs tasarımında hazırlanan ‘Sextupole.sf’ girdi dosyası Şekil 3.24’te görüldüğü gibi Automesh komutu seçilerek Superfish programı tarafından çalıştırılır.



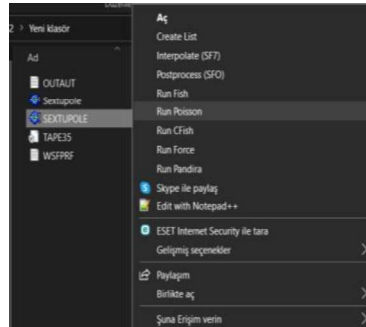
Şekil 3.24. Altı kutuplu mıknatısın .sf uzantılı dosyası Automesh ile birlikte açılır

Oluşturulan altı kutuplu (Sextupole) mıknatıs dosyası açılırsa tasarımın x-y eksenlerindeki konumu ve seçilen malzeme hakkında bilgi veren ekran karşımıza çıkar.



Şekil 3.25. Altı kutuplu mıknatıs tasarımının geometrisi

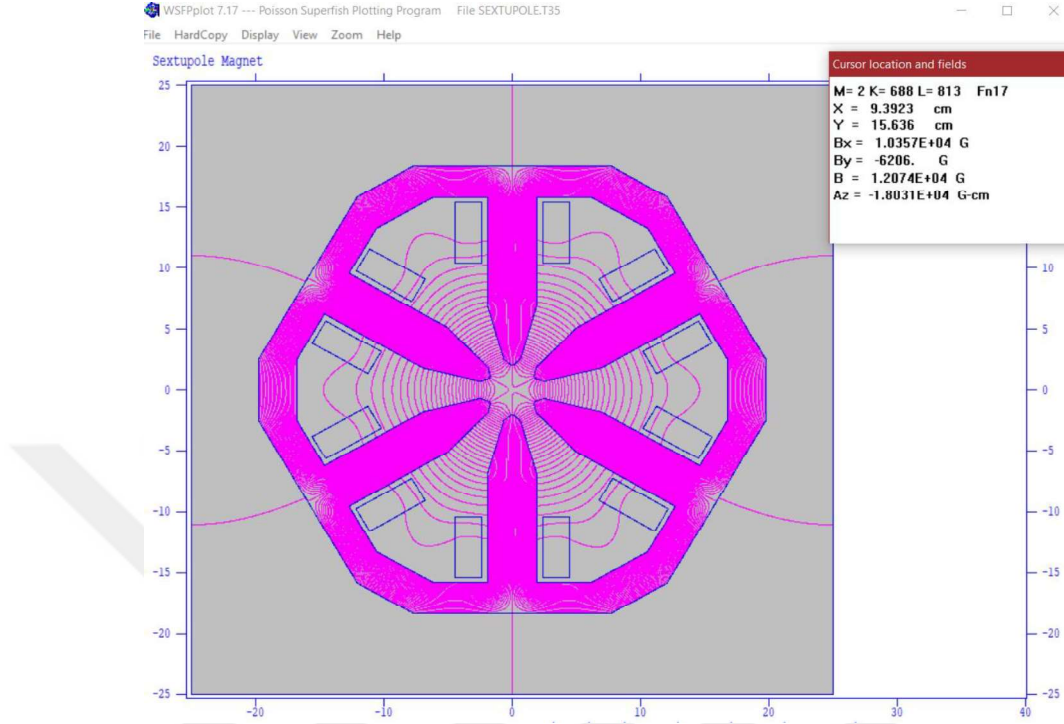
Poisson / Superfish ile altı kutuplu tasarımı için kullanılan geometride oluşturulan şeklin istenilen bir noktaya gelirse bu noktanın koordinat (x-y) verileri ve malzeme yapısı (M) hakkında bilgi ekranda çıkan küçük pencerede gösterilir. Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda ‘Display’ ve ‘View’ seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilebilir (bakınız Şekil 3.25).



Şekil 3.26. Altı kutuplu tasarım için Poisson çözümünün başlatılması

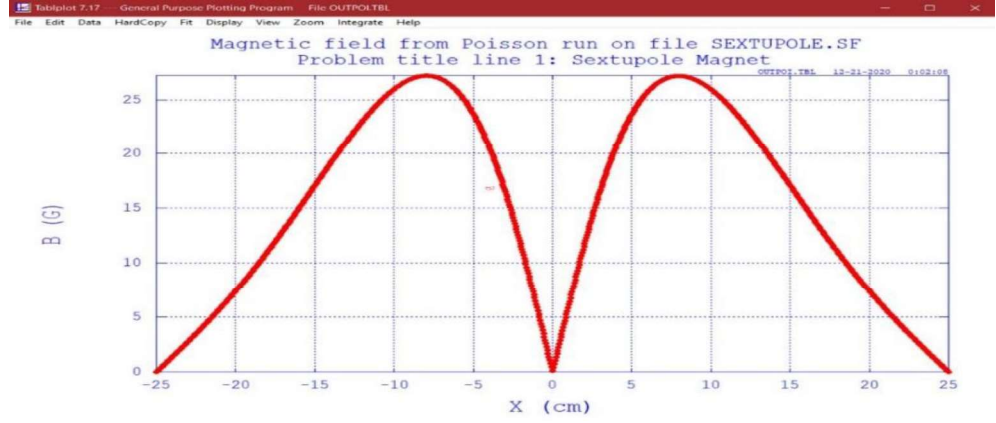
SEXTUPOLE dosyasını “Run Poisson” komutu ile oluşturduğumuz tasarımda manyetik alan dağılımı için Poisson denklemleri çözülür (bakınız Şekil 3.26). Sonuç olarak manyetik alan çizgilerinin elde edildiği “Poisson Superfish solution” dosyası oluşur. “Interpolate (SF7)” komutuna basıldığında ise tasarımın koordinat sistemi

hakkında bilgi verir. SEXTUPOLE dosyası “Run Poisson” komutundan sonra poisson denklemi çözümüyü Şekil 3.27’de olduğu gibi sonuçlar verir.



Şekil 3.27. Altı kutuplu mıknatıs tasarımının manyetik alan çizgilerinin gösterilmesi

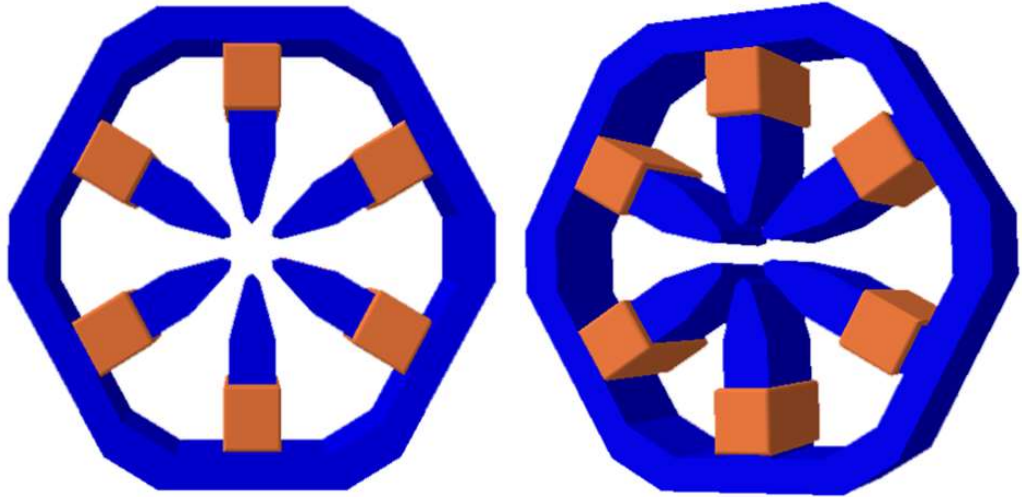
SEXTUPOLE dosyaları, Poisson Superfish solution dosyasının Poisson ile çözülmesinden elde edilen grafik ve tasarım dosyalarıdır. Bu çözümlemenin sonucunda tasarım yapılırken belirlenen akım değerleri ile bobinlerin (coil) yerlerine göre akım yönleri çözülür ve tasarım üzerinde görülebilir. Şekil 3.27’de bobinlerin olduğu yerlerde manyetik alan çizgilerinin simetrik olması gerekmektedir. Merkezde demetin geçtiği bölgede manyetik alan dağılımı değeri sıfır olacak geri kalan bölgelerde ise bobinlere verilen akımların işaretleri ile ilgili olmalıdır.



Şekil 3.28. Altı kutuplu mıknatısın manyetik alan dağılımının büyüklüğü ($|B|$) ve konum (X) grafiği

Poisson / Superfish ile açılan bu ekranda “Display” ve “View” seçenekleri ile oluşturulan tasarımın fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinebiliriz. Altı kutuplu mıknatıs tasarımında geometri üzerinde manyetik alan çizgilerinin yoğun olduğu bölgeler görülebilir. “OUTPOI” olarak elde edilen bu dosya altı kutuplu mıknatıs tasarımında manyetik alan büyüklüğünün konuma göre dağılım grafiği Şekil 3.28’de görüldüğü gibi elde edilir. “Tablplot input” dosya türüne sahiptir.

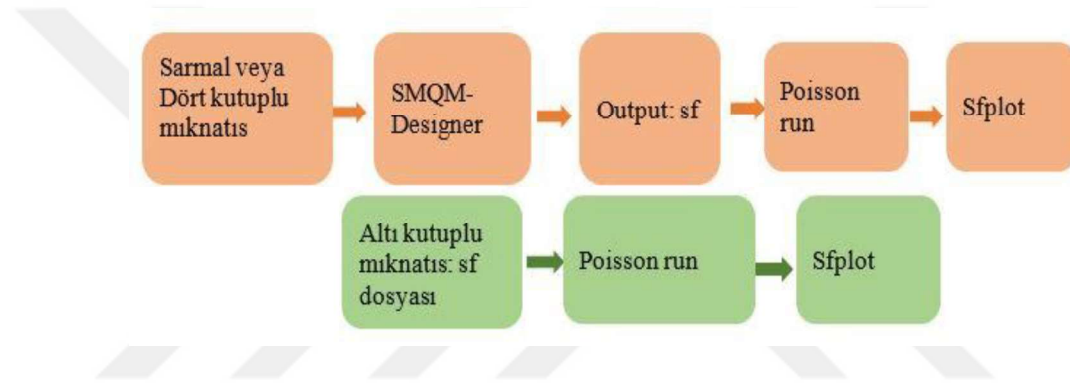
SMQMDesigner arayüzünde yapılan altı kutuplu mıknatıs tasarımı ile elde edilen Superfish programı için girdi dosyasında yer alan veriler, 3B tasarım için CATIA adlı çizim programı için girdi verileri olarak kullanılabilir (bakınız Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Altı kutuplu mıknatısın tasarımın 3B görüntüsü için CATIA program çıktısı; tasarımın dik eksen görüntüsü (solda), tasarımın izometrik görüntüsü (sağda)

4. BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

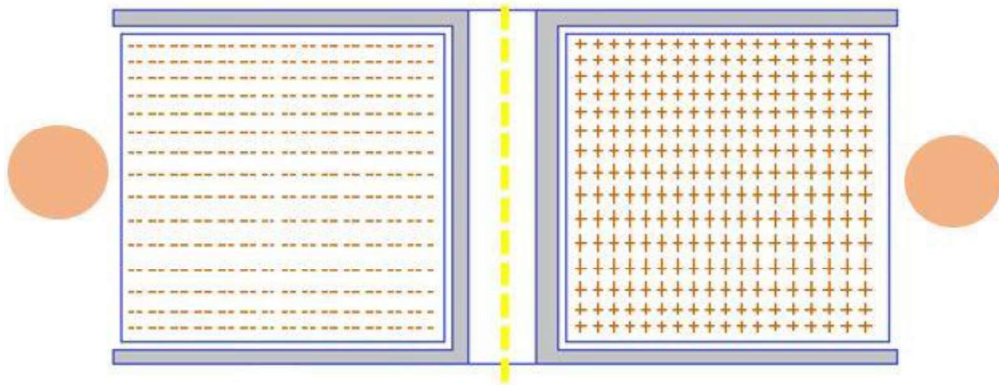
Bu bölümde, sarmal ve dört kutuplu mıknatısın SMQMDesigner programı arayüzünde tasarım sonuçları verilmiştir. Tasarım arayüzünden manyetik alan dağılımlarına kadar çözümlemenin işlem basamakları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Buna ek olarak altı kutuplu mıknatıs için doğrudan Automeşh girdi dosyası hazırlanarak tasarım sonuçları verilmiştir ve altı kutuplu mıknatısın geometrisinden manyetik alan dağılımına kadar çözümleme işlem basamakları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Geometrik tasarımları Poisson/Superfish programına aktararak Poisson çözümü yapılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen 2B manyetik alan vektör dağılımı, manyetik alan bileşenleri ve büyüklüklerinin grafiksel dağılımı verilmiştir.



Şekil 4.1. Sarmal ve dört kutuplu mıknatıs tasarımı için SMQMDesigner arayüzünden manyetik alan dağılımlarına kadar çözümlemenin işlem basamakları (yukarıda), altı kutuplu mıknatısın geometrisinden manyetik alan dağılımına kadar çözümleme işlem basamakları (aşağıda)

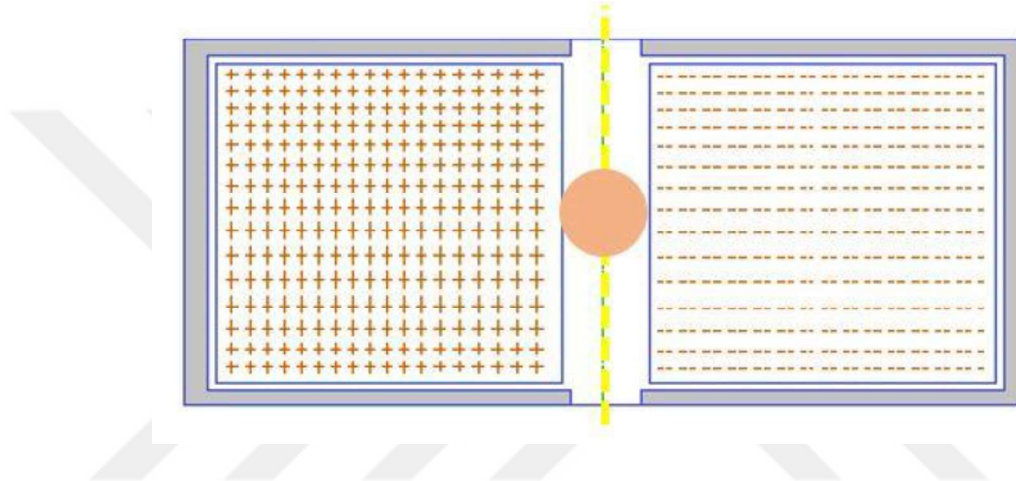
4.1. Sarmal Mıknatıs

Sarmal mıknatıs tasarımının SMQMDesigner kullanıcı arayüzü Şekil 3.1’de görüldüğü gibidir. Ancak sarmal mıknatıs ortasında demetin geçtiği boşluk, dış kaskak (demir) ve simetri ekseninin daha iyi anlaşılması için aşağıdaki inceleme yapılmıştır;



Şekil 4.2. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen sarmal mıknatısın ilk tasarımı

Yukarıda şekilde olduğu gibi demetin geçtiği bölge  sarı renk kesik çizgi ile belirtilmiştir. Eğer demirin olduğu kasnak Şekil 4.2’de olduğu gibi tasarlanırsa manyetik alan değerinin en yüksek olduğu bölgeler  turuncu noktalarla gösterilmiştir. Halbuki manyetik alan değerinin en yüksek olduğu değerin demetin geçtiği bölgede olması istenir, genellikle tasarımda materyal çeşidi demir olarak seçilir ve sarı renkli kesik çizgi  ile gösterilen bölgenin etrafı metal veya demir malzeme ile kaplanmıştır. Bu durumda demet üzerine etki eden manyetik alan kuvveti istenenden daha azdır, bu yüzden tasarım kullanışlı değildir ve tasarım simetrisinde düzeltmeler yapılmalıdır.

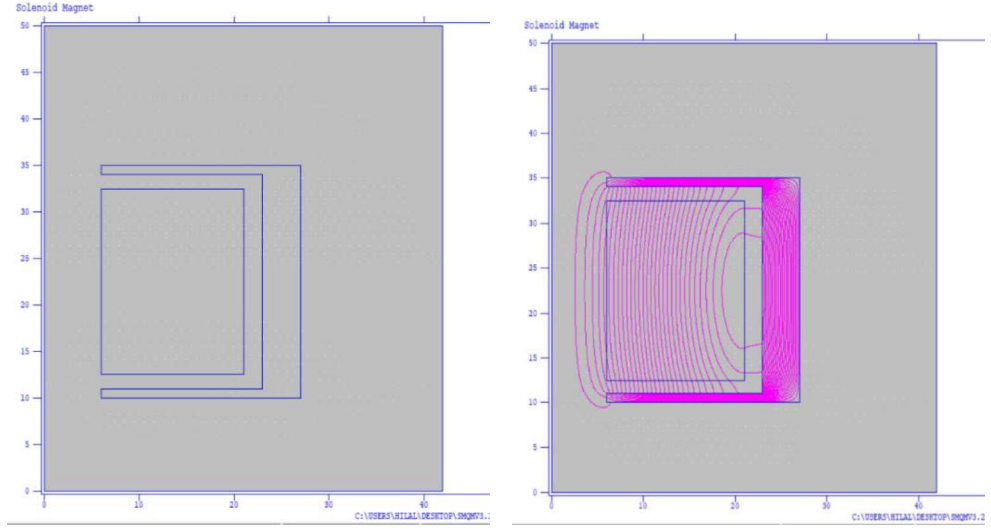


Şekil 4.3. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen sarmal mıknatısın düzenlenmiş tasarımı

Yukarıda gösterilen kasnak tasarımı ile bobinlerin sarımı manyetik alan değerinin en yüksek olduğu bölge turuncu nokta  ile demetin geçtiği hat sarı renkli kesikli çizgi  aynı bölgede yer almaktadır. Bu durumda demete yön vermek için sarmal mıknatıs kullanılabilir, böylece tasarım daha makul ve kullanışlı olmaktadır.

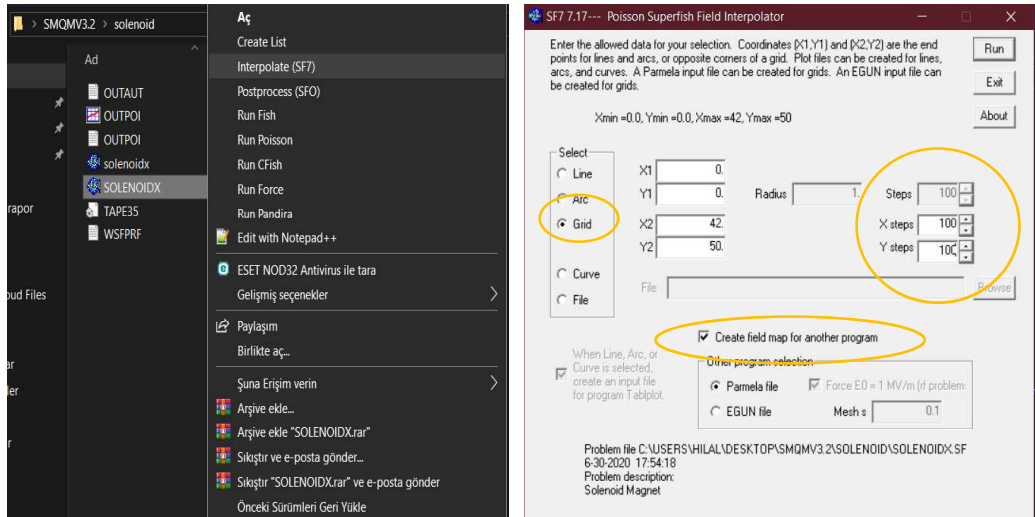
Kullanıcı arayüzünde parametre değerleri girilirken, bir bobin için akım değeri girilir ve kod kısmında silindirik koordinatlara göre simetri alınarak tam tasarım elde edilir. Çıktı dosyası olarak elde edilen solenoidx.sf tasarım dosyası ½’lik sarmal mıknatısa aittir. Bunun sebebi Superfish programında sarmal mıknatıs için çözümleme yapılırken, silindirik simetriden yararlanılmasıdır.

Poisson/Superfish program paketiyle Automesh dosyası (.sf) çalıştırıldığında aşağıdaki Şekil 4.4’te görüldüğü gibi sarmal mıknatıs tasarımı elde edilmiştir. Oluşan SOLENOIDX dosyasından “Run Poisson” seçeneğiyle tasarımın manyetik alan dağılımı elde edilir.

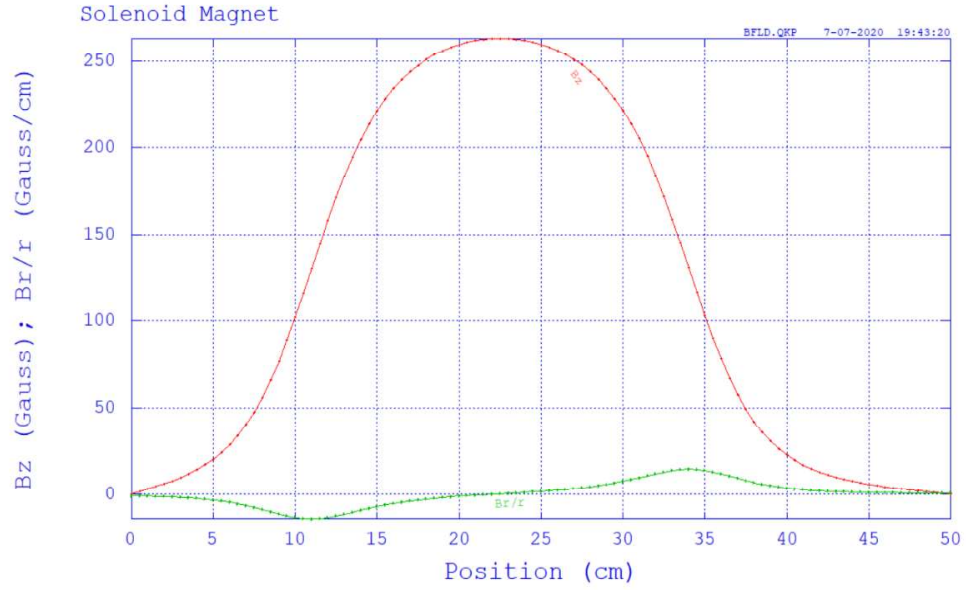


Şekil 4.4. *solenoidx.sf* dosyasının çalıştırılmasıyla elde edilen tasarım (solda), SOLENOIDX dosyasının çözülmesiyle elde edilen tasarım üzerindeki manyetik alan dağılımı (sağda)

SOLENOIDX dosyası ‘Poisson Superfish solution’ türünde bir çözüm dosyasıdır. Bu dosya sağ tuş ile açılır ve gelen ekranda Interpolate (SF7) tercihi yapılır. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi yeni açılan ekranda Select → Grid tercihi yapılır sonra “Create field map for another program” seçeneği tercih edilir. Steps → X steps=100 ve Y steps=100 olarak değiştirilir ve Run düğmesine basılır. BFLD adlı plot dosyası oluştuğunda sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımını veren grafik elde edilir.

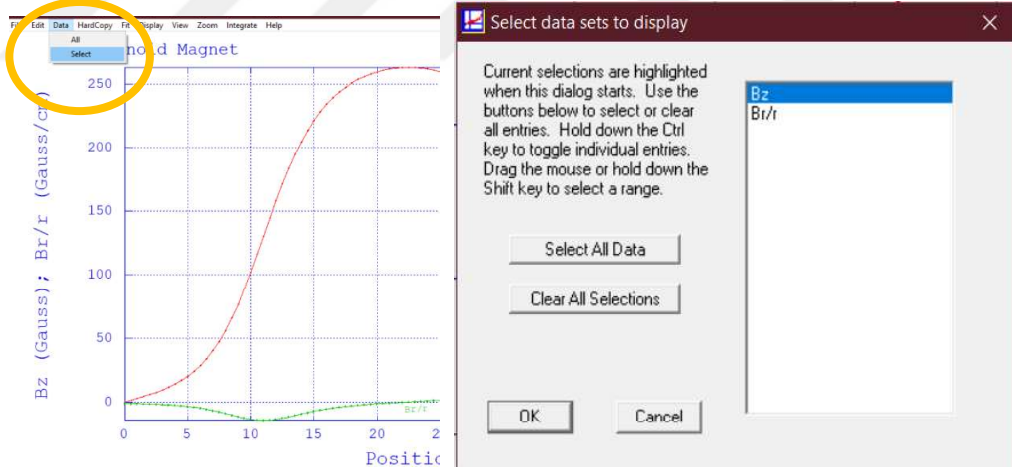


Şekil 4.5. *Interpolate (SF7)* tercihi yapımı (solda), sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımını veren grafiği elde etmek için yapılan tercihler (sağda)



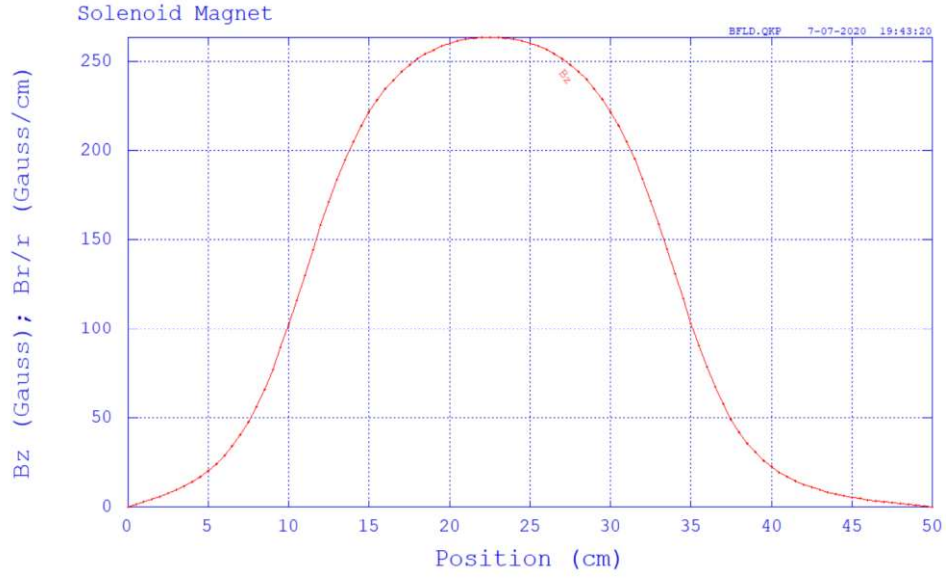
Şekil 4.6. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımını veren grafik

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere Bz (kırmızı) ve Br/r (yeşil) manyetik alan dağılımının bileşenleri pozisyona göre grafiği verilmiştir, istenilen veri tipine göre görüntüleme yapabiliriz.



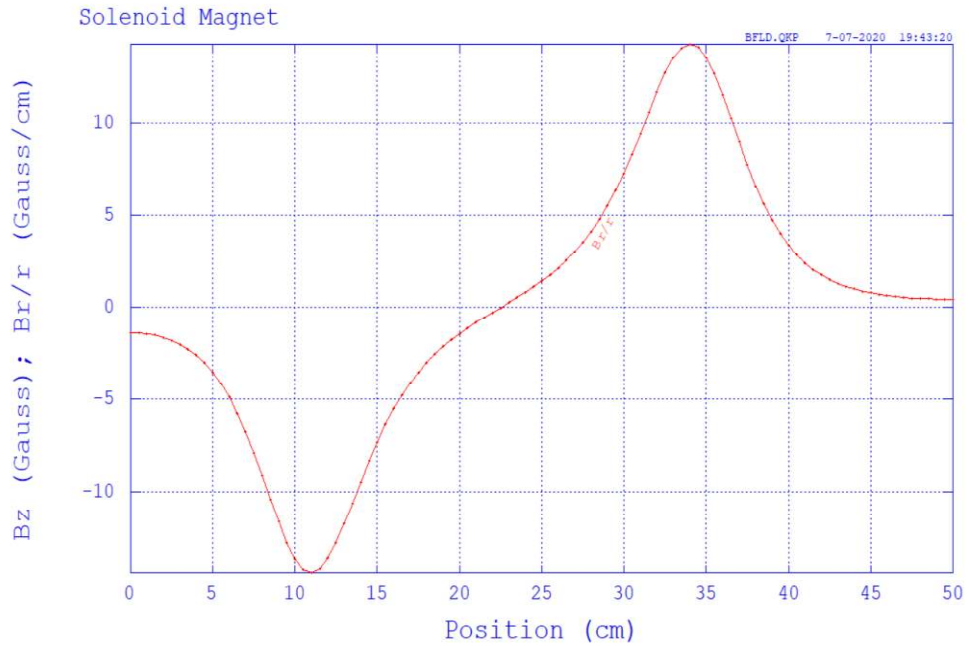
Şekil 4.7. Data tipi secim ekranı(solda), Data secim ekranı (sağda)

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi istenilen grafik türü Poisson/Superfish programı ile oluşturulan grafik dosyaları üzerinden tercih edilebilir. Seçilen konum ve bu konuma göre hangi eksen veya işlemle (Br/r gibi) manyetik alan dağılımı elde etmek isteniyorsa SF7 dosyası üzerinden girilen değerlerle ayarlanır.



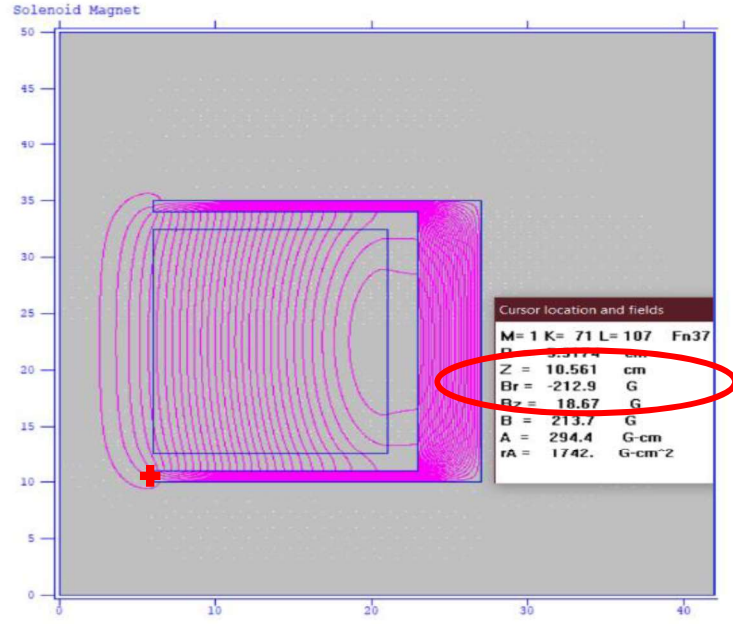
Şekil 4.8. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının B_z bileşeninin pozisyona göre elde edilen grafik

Sarmal mıknatıs için Şekil 4.8'teki grafiği incelediğimizde literatürle şekilsel olarak uyuşmaktadır ve B_z 'den z eksenini üzerinde 20-25 cm aralığında manyetik alan dağılımı en yüksek değerindedir.

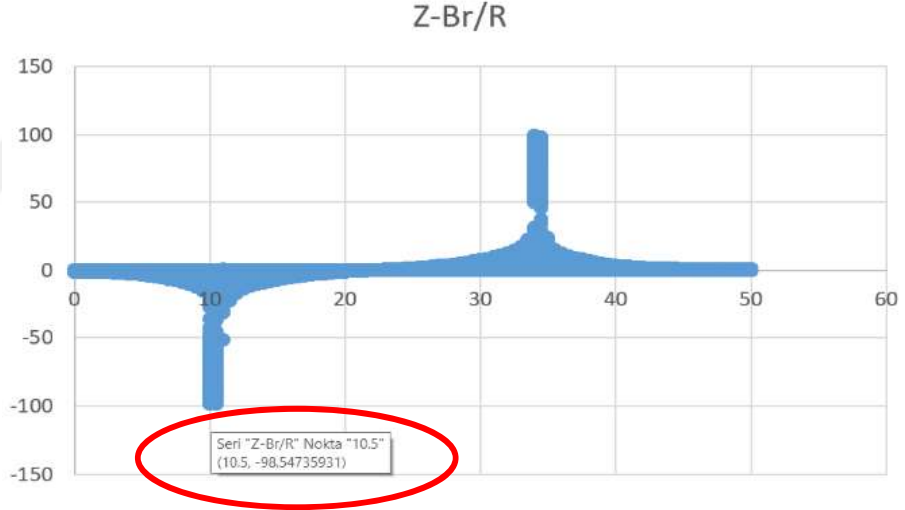


Şekil 4.9. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Br/r bileşeninin pozisyona göre elde edilen grafik

Elde edilen bu grafikten r değeri artarken z 'nin hangi değerinde olduğu net bir şekilde görülmemektedir, bu yüzden daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için SF7 dosyasının içinde yer alan verileri Excel dosyasına aktarıp grafik tekrardan elde edilir.

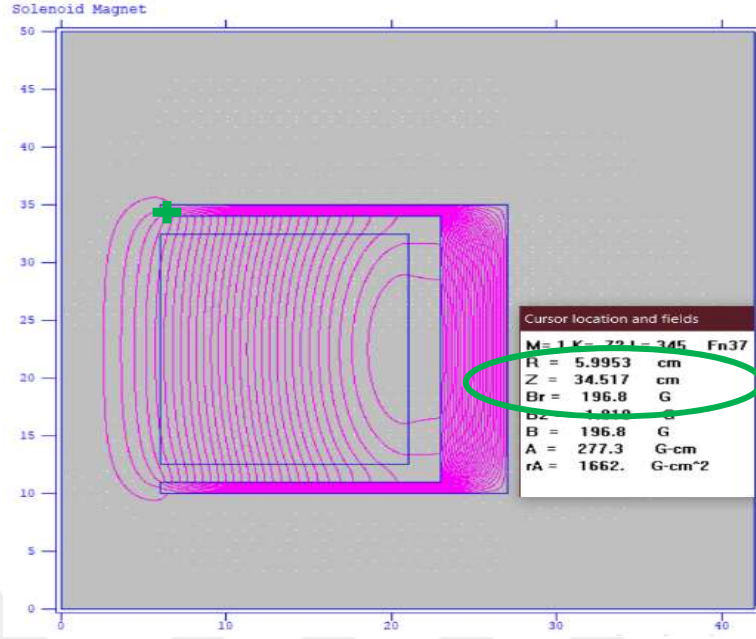


Şekil 4.10. Sarmal mıknatıs tasarımında manyetik alan dağılımının alt demir ile temas ettiği nokta

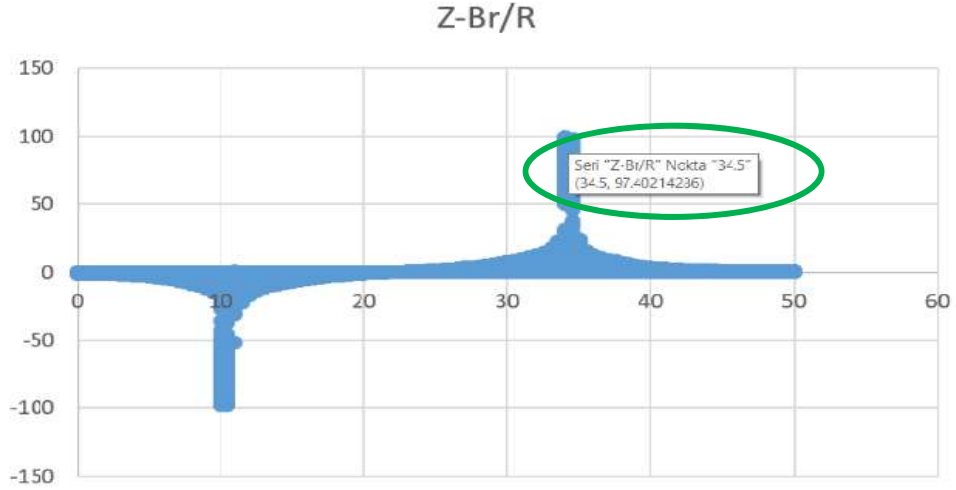


Şekil 4.11. Alt demir için Excel dosyasıyla elde edilen z-Br/r grafiği

SF7 dosyasının içinde yer alan verileri Excel dosyasına aktarıp z-Br/r grafiği tekrardan elde edildiğinde pik yaptığı değerlere bakılır. Superfish tasarımında sarmal mıknatısın z eksen değeri 10.561 ve Excel dosyasında pik yaptığı 10.5 değeri, manyetik alan dağılımının demir ile karşılaştığı noktalardır.



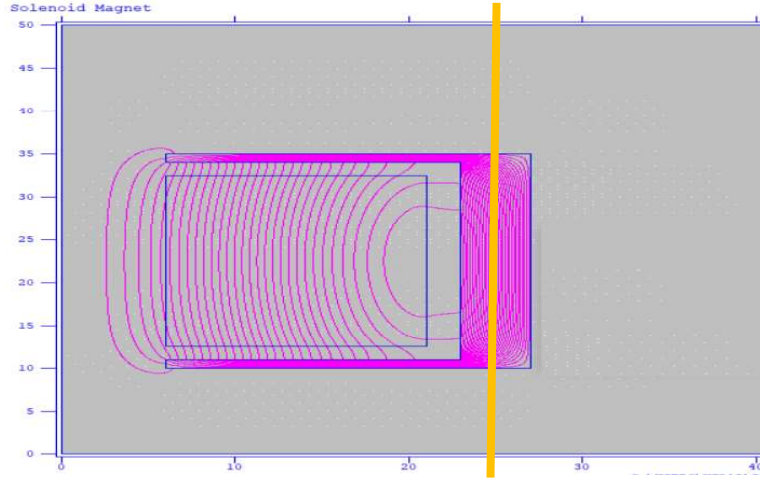
Şekil 4.12. Sarmal mıknatıs tasarımında manyetik alan dağılımının üst demir ile temas ettiği nokta



Şekil 4.13. Üst demir için Excel dosyasıyla elde edilen z-Br/r grafiği

SF7 dosyasının içinde yer alan verileri Excel dosyasına aktarıp z-Br/r grafiği tekrardan elde edildiğinde pik yaptığı değerlere bakılır. Superfish tasarımında sarmal mıknatısın z eksen değeri 34.517 ve Excel dosyasında pik yaptığı 34.5 değeri, manyetik alan dağılımının demir ile karşılaştığı noktalardır.

Bu grafikten alan dağılımını gözlemleyebiliriz ancak grafiği daha iyi yorumlamak için r sabit alınır ve z-Br/r 'yi üç farklı noktada çizdirilerek manyetik alan dağılımını daha iyi yorumlayabiliriz.



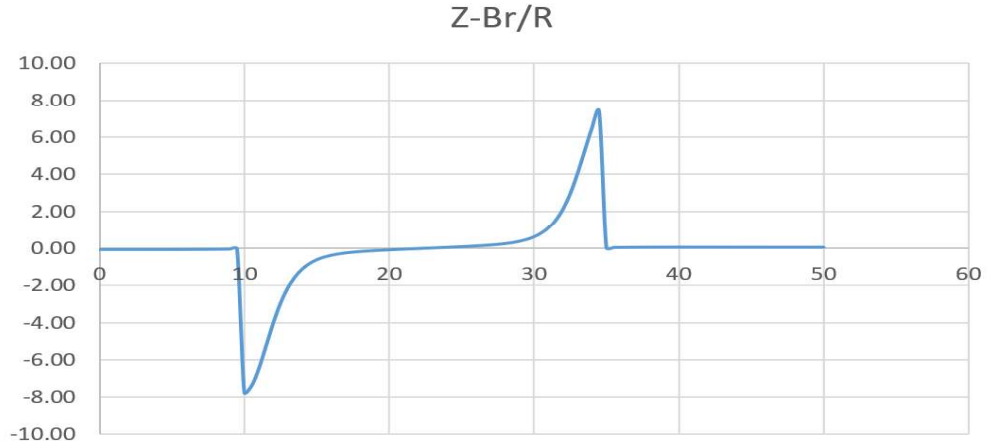
Şekil 4.14. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda demirin içerisinde bulunan ve $r=R=25.2$ değerine karşı gelen nokta gösterimi

Yarıçap (r) sabit tutulur ve bu değer $r=R=25.2$ alınırsa tasarımın Şekil 4.14'te görüldüğü gibi sarı çizgi ile belirtilen doğrultu üzerinde manyetik alan dağılımının incelemesini yapabiliriz.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	R	Z	Br	Bz	B	A	dBz/dr	dBr/dz	Field			Br/R
2	25.2	0	-1.75E+00	0.00E+00	1.75E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00			-6.95E-02
3	25.2	0.5	-1.75E+00	-6.73E-02	1.75E+00	8.75E-01	2.13E-03	2.13E-03	-7.99E-01			-6.95E-02
4	25.2	1	-1.75E+00	-1.35E-01	1.76E+00	1.75E+00	1.51E-03	1.51E-03	-2.83E-01			-6.95E-02
5	25.2	1.5	-1.75E+00	-2.03E-01	1.76E+00	2.63E+00	2.48E-03	2.48E-03	-3.07E-01			-6.94E-02
6	25.2	2	-1.75E+00	-2.73E-01	1.77E+00	3.50E+00	3.98E-03	3.98E-03	-3.67E-01			-6.93E-02
7	25.2	2.5	-1.75E+00	-3.46E-01	1.78E+00	4.38E+00	6.18E-03	6.18E-03	-4.50E-01			-6.93E-02
8	25.2	3	-1.74E+00	-4.22E-01	1.79E+00	5.24E+00	8.26E-03	8.26E-03	-4.93E-01			-6.91E-02
9	25.2	3.5	-1.74E+00	-5.01E-01	1.81E+00	6.11E+00	1.21E-02	1.21E-02	-6.10E-01			-6.89E-02
10	25.2	4	-1.73E+00	-5.84E-01	1.83E+00	6.98E+00	1.59E-02	1.59E-02	-6.88E-01			-6.86E-02
11	25.2	4.5	-1.72E+00	-6.74E-01	1.85E+00	7.84E+00	2.13E-02	2.13E-02	-7.98E-01			-6.83E-02
12	25.2	5	-1.71E+00	-7.69E-01	1.87E+00	8.70E+00	3.16E-02	3.16E-02	-1.04E+00			-6.78E-02
13	25.2	5.5	-1.69E+00	-8.72E-01	1.90E+00	9.55E+00	3.98E-02	3.98E-02	-1.15E+00			-6.71E-02
14	25.2	6	-1.67E+00	-9.87E-01	1.94E+00	1.04E+01	5.45E-02	5.45E-02	-1.39E+00			-6.61E-02
15	25.2	6.5	-1.64E+00	-1.11E+00	1.98E+00	1.12E+01	7.17E-02	7.17E-02	-1.63E+00			-6.49E-02
16	25.2	7	-1.59E+00	-1.25E+00	2.03E+00	1.20E+01	9.60E-02	9.60E-02	-1.93E+00			-6.32E-02
17	25.2	7.5	-1.54E+00	-1.41E+00	2.09E+00	1.28E+01	1.31E-01	1.31E-01	-2.34E+00			-6.10E-02
18	25.2	8	-1.46E+00	-1.60E+00	2.16E+00	1.36E+01	1.77E-01	1.77E-01	-2.79E+00			-5.80E-02
19	25.2	8.5	-1.36E+00	-1.80E+00	2.26E+00	1.43E+01	2.40E-01	2.40E-01	-3.35E+00			-5.39E-02

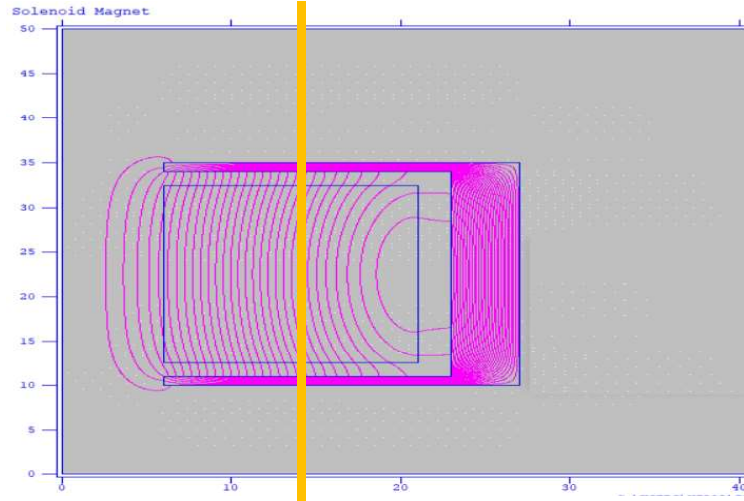
Şekil 4.15. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 25.2 olarak aldığımız sabit $r=R$ değerlerine göre z ve Br/r değerleri seçilir

Tasarıma göre Superfish programının oluşturduğu OUTAUT adlı dosyada, her bir nokta ve bu noktadaki manyetik alan dağılımı bir txt dosyası olarak oluşur. Bu dosyadaki değerler Excel dosyasına aktarılarak elde edilen Excel tablosunun bir kısmının ekran görüntüsüne Şekil 4.15'te yer verilmiştir. Grafik karşılaştırması için Şekil 4.16'da yer alan grafik incelenmelidir.



Şekil 4.16. Sarmal mıknatısta demirin içerisindeki sabit ($r=R=25.2$) bir noktaya göre $z-Br/r$ grafiği

Seçilen noktanın değerine göre manyetik alan dağılımı grafiği bazı farklılıklar göstermektedir. Burada Şekil 4.16'da elde edilen grafik, Şekil 4.9'da verilen grafiklerle karşılaştırıldığında pik yaptığı değerler arasında sayısal farklılık gözlenmektedir. Bunun sebebi ise seçilen sabit noktanın burada demirin içerisinde yer almasıdır, bu durum manyetik alan dağılımını etkilemektedir ve max. ile min. yaptığı değerlerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu durumu iyileştirmek için çözümlemedeki adım aralıkları (steps) küçültülmelidir.



Şekil 4.17. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda $r=R=15.12$ değerine karşı gelen nokta gösterimi

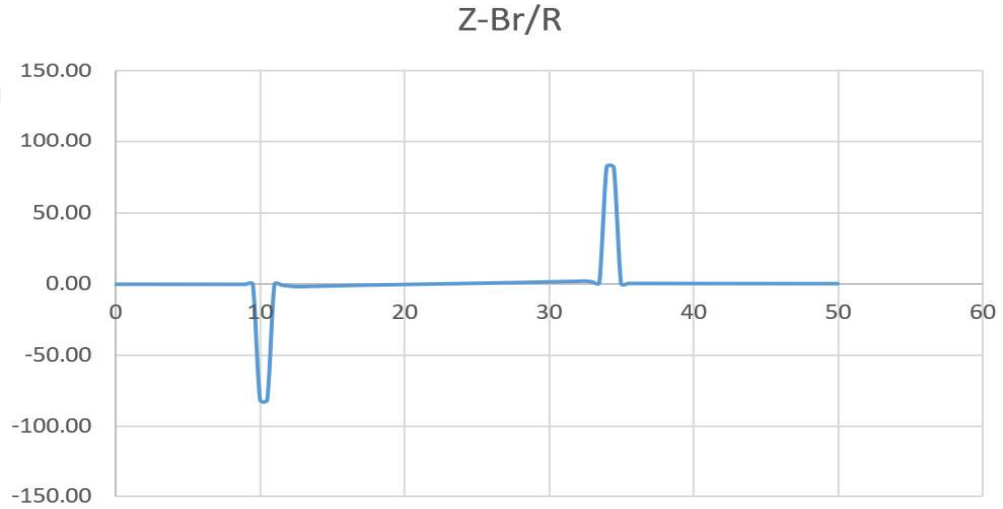
r sabit tutulursa ve bu değer $r=R=15.12$ alınırsa tasarımın Şekil 4.17'de görüldüğü gibi sarı çizgi ile belirtilen doğrultu üzerinde manyetik alan dağılımı incelenmesi demektir. Tasarım üzerinde r 'nin sabit olduğu çeşitli noktaları alarak bu doğrultular üzerinden manyetik alan dağılımını incelememiz, grafikleri yorumlamamızda ve yapılan

tasarımın hem literatürle hem de Superfish programıyla ne denli uyumlu olduğunu görölmesini sağlayacaktır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	R	Z	Br	Bz	B	A	dBz/dr	dBr/dz	Field		Br/R
2	15.12	0	-4.03E+00	0.00E+00	4.03E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00		-2.66E-01
3	15.12	0.5	-4.03E+00	1.34E-02	4.03E+00	2.01E+00	-1.31E-02	-1.31E-02	-1.47E+01		-2.67E-01
4	15.12	1	-4.04E+00	2.66E-02	4.04E+00	4.03E+00	-2.68E-02	-2.68E-02	-1.53E+01		-2.67E-01
5	15.12	1.5	-4.06E+00	3.94E-02	4.06E+00	6.06E+00	-3.48E-02	-3.48E-02	-1.34E+01		-2.68E-01
6	15.12	2	-4.08E+00	5.27E-02	4.08E+00	8.09E+00	-4.59E-02	-4.59E-02	-1.32E+01		-2.70E-01
7	15.12	2.5	-4.10E+00	6.58E-02	4.10E+00	1.01E+01	-5.57E-02	-5.57E-02	-1.28E+01		-2.71E-01
8	15.12	3	-4.13E+00	7.93E-02	4.13E+00	1.22E+01	-6.45E-02	-6.45E-02	-1.23E+01		-2.73E-01
9	15.12	3.5	-4.17E+00	9.40E-02	4.17E+00	1.43E+01	-7.24E-02	-7.24E-02	-1.17E+01		-2.76E-01
10	15.12	4	-4.20E+00	1.10E-01	4.21E+00	1.64E+01	-7.92E-02	-7.92E-02	-1.09E+01		-2.78E-01
11	15.12	4.5	-4.25E+00	1.29E-01	4.25E+00	1.85E+01	-8.63E-02	-8.63E-02	-1.01E+01		-2.81E-01
12	15.12	5	-4.29E+00	1.53E-01	4.29E+00	2.06E+01	-9.09E-02	-9.09E-02	-9.00E+00		-2.84E-01
13	15.12	5.5	-4.34E+00	1.82E-01	4.34E+00	2.28E+01	-9.25E-02	-9.25E-02	-7.71E+00		-2.87E-01
14	15.12	6	-4.38E+00	2.18E-01	4.39E+00	2.49E+01	-9.67E-02	-9.67E-02	-6.71E+00		-2.90E-01
15	15.12	6.5	-4.43E+00	2.64E-01	4.44E+00	2.71E+01	-1.01E-01	-1.01E-01	-5.78E+00		-2.93E-01
16	15.12	7	-4.48E+00	3.23E-01	4.50E+00	2.94E+01	-1.07E-01	-1.07E-01	-5.02E+00		-2.97E-01
17	15.12	7.5	-4.54E+00	3.96E-01	4.56E+00	3.16E+01	-1.16E-01	-1.16E-01	-4.41E+00		-3.00E-01
18	15.12	8	-4.60E+00	4.87E-01	4.62E+00	3.39E+01	-1.25E-01	-1.25E-01	-3.89E+00		-3.04E-01
19	15.12	8.5	-4.67E+00	5.97E-01	4.70E+00	3.62E+01	-1.40E-01	-1.40E-01	-3.55E+00		-3.09E-01

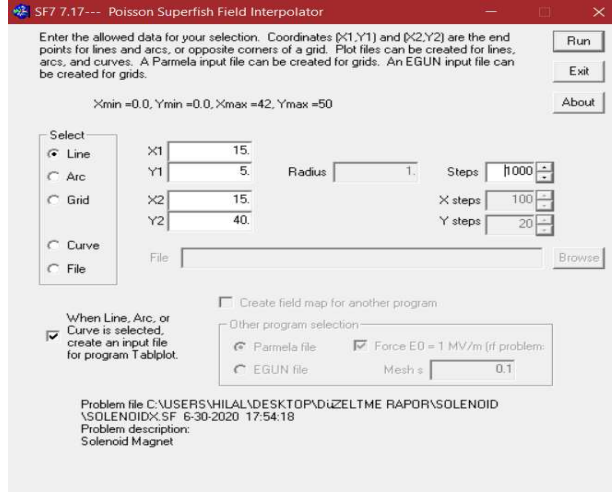
Şekil 4.18. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 15.12 olarak aldığımız sabit $r=R$ değerlerine göre z ve Br/r değerleri seçilir

Excel dosyasından elde ettiğimiz grafik Şekil 4.19’da verilmektedir. Ancak burada görülen piklerin karşılaştırma yapılabilmesi için $r=15.12$ civarında manyetik alan dağılım grafiğinin, Superfish programıyla elde edilmelidir.



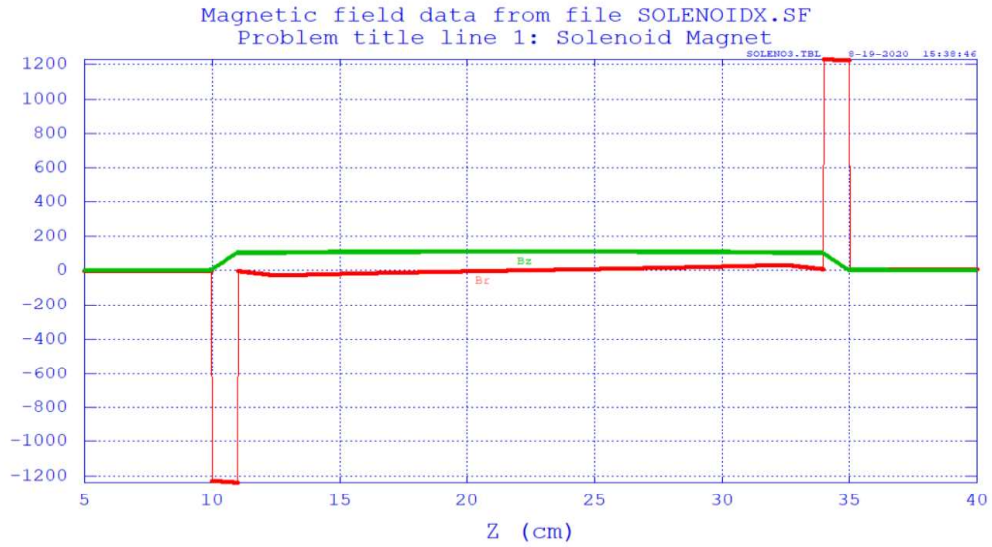
Şekil 4.19. Sarmal mıknatısın demirin içerisindeki sabit $r=R=15.12$ noktasına göre $z-Br/r$ grafiği

Superfish dosyası olan .sf dosyası çalıştırılır ve Interpolate (SF7) komutu çalıştırılır. Select → Grid tercihi yapıldığında aktif olan ‘Create field map for another program’ seçilir. X1=10, Y1=5; X2=20, Y2=40 tercihleri yapılır ve X-Y steps değerleri 1000 olarak seçilir. Son olarak Run tuşuna basılır.



Şekil 4.20. SF7 ile açılan Interpolate ekranı ve tercihler

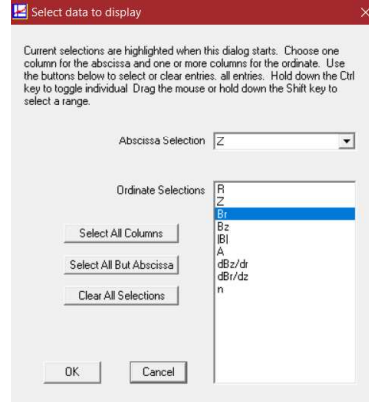
Burada özellikle X1 ve X2 değerlerinin $r=15$ civarında tercih edildiğine dikkat edilmelidir. Y değerleri ise isteğe bağlı olarak tasarımın tamamını alacak şekilde tercih edilebilir.



Şekil 4.21. Sarmal mıknatısın BFLD ('Quikplot input' uzantılı) grafik dosyası ve seçtiğimiz noktalara göre B_z - B_r/r grafiği

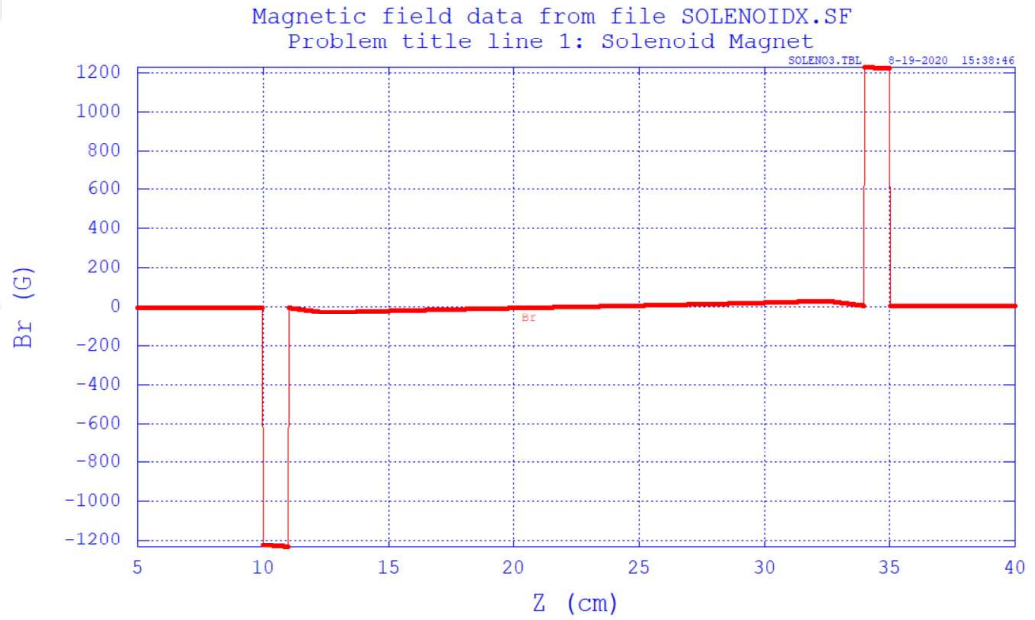
Bu seçimlerden sonra BFLD grafik dosyası üzerine yazılır ve her yapılan seçime göre yeni grafik dosyası aynı dosyaya yazılır. Eğer oluşturulan grafik BFLD ('Quikplot input' uzantılı) dosyası açılırsa Şekil 4.23 grafiği elde edilir.

2Data → Select tercihi yapıldığında aşağıdaki ekrandan B_r/r tercihi yapılır, bu sayede manyetik alan dağılımının demire girdiği yerler daha iyi tespit edilebilir.



Şekil 4.22. Data seçim ekranından Br tercihi yapılır

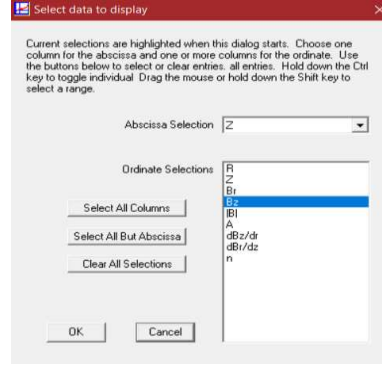
Burada z eksenini tercih edilir ve Br'ye göre değişim alınır. R sabit olduğundan z eksenini üzerindeki değişim incelenir.



Şekil 4.23. Sarmal mıknatısın manyetik alanın Br dağılım grafiği

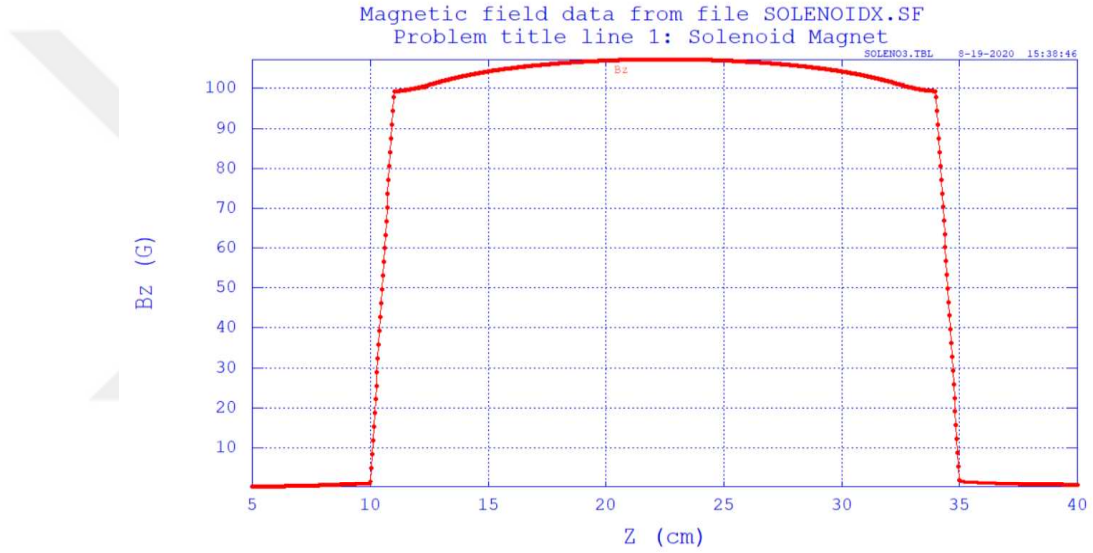
Şekil 4.20'de $X1=10$, $Y1=5$; $X2=20$, $Y2=40$ tercihleri ile sarmal mıknatıs tasarımında belirtilen çerçevede manyetik alan dağılımı Şekil 4.23'te verilmektedir. Br-z grafiği üzerinden bakıldığında 11 civarında ve 34 civarında manyetik alan dağılımının pik yaptığını ve bu değerlerin Şekil 4.19 ile karşılaştırdığında oluşturulan Excel dosyasından çizilen grafikte uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu grafikteki pik değerleri Şekil 4.9'daki değerlerle karşılaştırılmış ve Superfish programının kendi içinde uyumlu olduğu görülmüştür, böylece manyetik alan dağılımında demire girilen bölge tespit edilebilir.



Şekil 4.24. Data seçim ekranından Bz tercihi yapılır

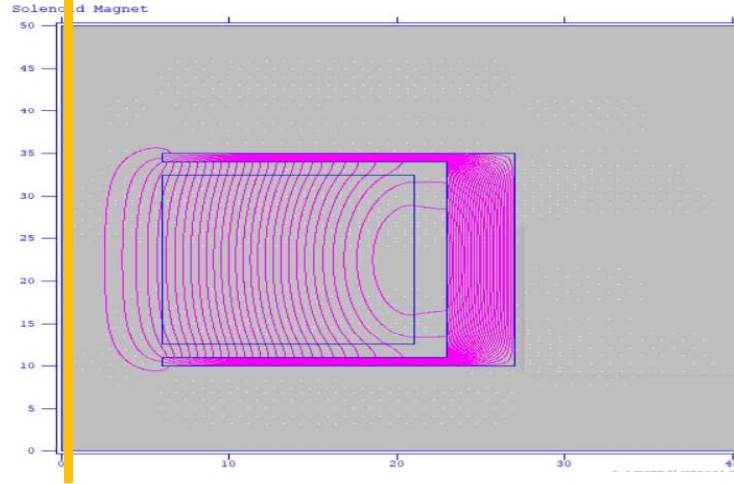
Bu tercihle birlikte manyetik alan dağılımı Bz incelenir



Şekil 4.25. Sarmal mıknatısın manyetik alan dağılımının Bz-z grafiği

Şekil 4.25'teki grafik ile Şekil 4.8'deki grafik karşılaştırıldığında manyetik alan dağılımlarının uyumlu olduğu söylenebilir.

Sarmal mıknatıs için hem demirin içinde hem de bobinlerin içinde olduğu bölgelerde manyetik alan dağılım grafikleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda bulunan değerler beklentiyle uyumlu çıkmıştır. Tasarımın manyetik alanının r-z eksenleri üzerindeki en yüksek olduğu bölge üzerinden r değeri sabit alınarak z ye göre değişime bakılmalıdır.



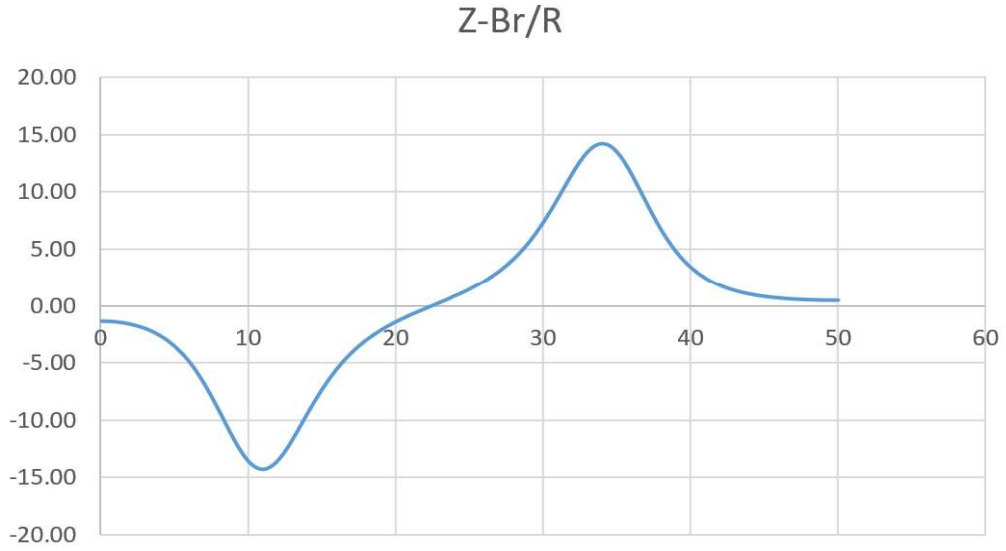
Şekil 4.26. Sarmal mıknatısın Superfish dosyasından elde edilen tasarımda $r=0.42$ değerine karşı gelen nokta gösterimi

Bu noktanın (0.42) seçilmesinin nedeni manyetik alan dağılımının en yüksek olduğu nokta olmasıdır. Bu sayede sarmal mıknatısın dışında yer alan ve simetri alınan eksen üzerinde olan manyetik alan dağılımının en yüksek olduğu nokta sabit tutularak ($r=R$) z - Br/r grafiği incelenmiştir.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	R	Z	Br	Bz	B	A	dBz/dr	dBr/dz	Field		Br/R
2	0,42	0	-5,78E-01	0,00E+00	5,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		-1,38E+00
3	0,42	0,5	-5,83E-01	1,37E+00	1,49E+00	2,89E-01	-3,85E-02	-3,85E-02	-1,18E-02		-1,39E+00
4	0,42	1	-6,02E-01	2,78E+00	2,85E+00	5,86E-01	-5,94E-02	-5,94E-02	-8,97E-03		-1,43E+00
5	0,42	1,5	-6,39E-01	4,25E+00	4,30E+00	8,95E-01	-7,90E-02	-7,90E-02	-7,81E-03		-1,52E+00
6	0,42	2	-6,89E-01	5,83E+00	5,87E+00	1,23E+00	-1,14E-01	-1,14E-01	-8,24E-03		-1,64E+00
7	0,42	2,5	-7,57E-01	7,54E+00	7,57E+00	1,59E+00	-1,64E-01	-1,64E-01	-9,16E-03		-1,80E+00
8	0,42	3	-8,43E-01	9,43E+00	9,46E+00	1,98E+00	-2,14E-01	-2,14E-01	-9,54E-03		-2,01E+00
9	0,42	3,5	-9,57E-01	1,16E+01	1,16E+01	2,43E+00	-2,58E-01	-2,58E-01	-9,36E-03		-2,28E+00
10	0,42	4	-1,10E+00	1,40E+01	1,40E+01	2,95E+00	-3,11E-01	-3,11E-01	-9,34E-03		-2,62E+00
11	0,42	4,5	-1,28E+00	1,68E+01	1,69E+01	3,54E+00	-3,89E-01	-3,89E-01	-9,71E-03		-3,04E+00
12	0,42	5	-1,49E+00	2,01E+01	2,01E+01	4,23E+00	-4,71E-01	-4,71E-01	-9,84E-03		-3,55E+00
13	0,42	5,5	-1,75E+00	2,39E+01	2,40E+01	5,04E+00	-5,77E-01	-5,77E-01	-1,01E-02		-4,17E+00
14	0,42	6	-2,06E+00	2,85E+01	2,85E+01	5,99E+00	-6,87E-01	-6,87E-01	-1,01E-02		-4,91E+00
15	0,42	6,5	-2,43E+00	3,38E+01	3,39E+01	7,11E+00	-7,87E-01	-7,87E-01	-9,78E-03		-5,78E+00
16	0,42	7	-2,85E+00	4,00E+01	4,01E+01	8,43E+00	-8,90E-01	-8,90E-01	-9,34E-03		-6,79E+00
17	0,42	7,5	-3,33E+00	4,74E+01	4,75E+01	9,97E+00	-9,84E-01	-9,84E-01	-8,73E-03		-7,92E+00
18	0,42	8	-3,83E+00	5,59E+01	5,60E+01	1,18E+01	-1,06E+00	-1,06E+00	-7,96E-03		-9,13E+00
19	0,42	8,5	-4,36E+00	6,56E+01	6,58E+01	1,38E+01	-1,06E+00	-1,06E+00	-6,77E-03		-1,04E+01

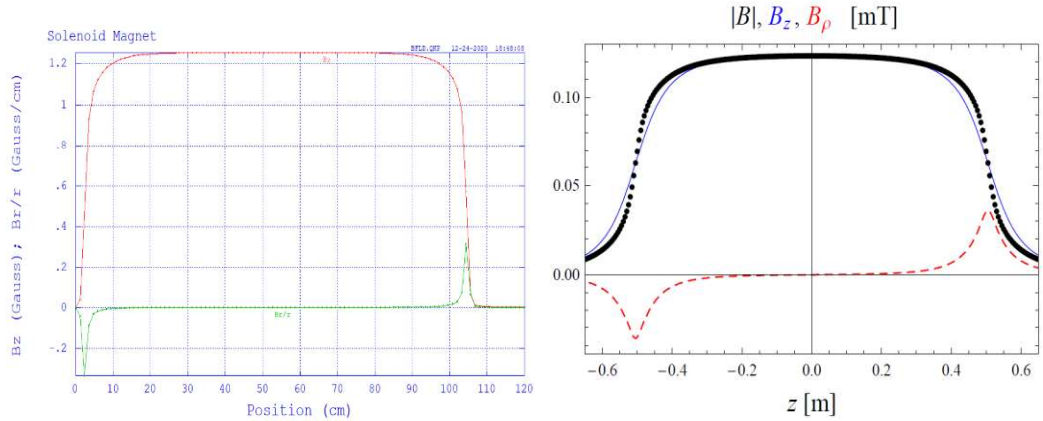
Şekil 4.27. Superfish dosyasından elde edilen Excel dosyasında 0.42 olarak aldığımız sabit r değerine göre z - Br/r değerleri seçilir

Grafiklerin karşılaştırılması için Şekil 4.9 ve Şekil 4.28 ele alındığında manyetik alanların benzer şekilde dağılım gösterdiği görülür.



Şekil 4.28. R değerini sabit 0.42 noktasına göre aldığımızda elde edilen $z\text{-}Br/r$ grafiği

Literatürdeki benzer bir çalışma ile karşılaştırma için özel tasarım parametreleri seçilmiştir: Sarmal mıknatısın yarı çapı $R=10$ cm, uzunluğu $L=100$ cm ve akım değeri $NxI=100$ A. Burada elde edilen sonuçlar, bu konuda literatürde yapılan bir çalışmada (Muniz, 2012) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve manyetik alanın boyuna ve radyal bileşenin uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.29. Sarmal mıknatıs referans tasarım için manyetik alan dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Muniz, 2012) elde edilen sonuç (sağda)

4.2. Dört Kutuplu Mıknatıs

Normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı, döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs (Skew Quadrupole) tasarımının saat yönünün tersi yönde 45° döndürülerek elde edilmektedir. Bu normal dört kutuplu tasarımı parçacık demetinin odaklanması için bir alternatif olarak

hazırlanmıştır. Saat yönünün tersine 45° döndürme işlemi için 2x2 dönüşüm matrisi kullanılır. İlk olarak .sf dosyası içinde her bir nokta değeri için:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta \quad (2.2)$$

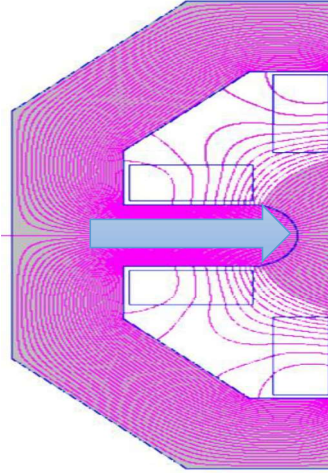
$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta \quad (2.3)$$

önüşümü uygulanır. Döndürülmüş dört kutuplu için girilen verilerden yararlanarak, her bir noktayı saat yönünün tersine 45° döndürerek kullanıcı arayüzünde ikinci bir çıktı dosyası elde edilir.

Bölüm 3'te bahsedildiği gibi girilen aynı verilerle farklı amaçlar için kullanılan iki farklı dört kutuplu tasarımı yapılmaktadır (bakınız Şekil 3.2).

```
// writing points in the middle
fileout1 << "&reg mat=" << mat1 << ", " << "&" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_4 << ", y=" << -h_3 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3 << ", y=" << -h_4 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3 << ", y=" << -d_1 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3+h_0 << ", y=" << -d_1 << " &" << endl;
fileout1 << "&po nt=" << 2 << ", x0=" << -h_3+h_0 << ", y0=" << h_4-h_4 << ", r=" << d_1 << ", theta=90." << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3 << ", y=" << d_1 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_3 << ", y=" << h_4 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -h_4 << ", y=" << h_3 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -d_1 << ", y=" << h_3 << " &" << endl;
fileout1 << "&po x=" << -d_1 << ", y=" << h_3-h_0 << " &" << endl;
```

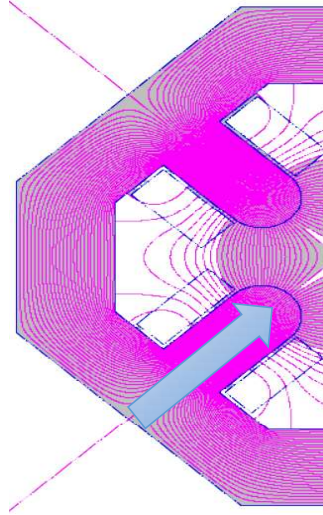
Yukarıda belirtilen kod dizisi döndürülmüş dört kutupluya aittir. Burada dönme matrisi etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için; uzunluk değerleri ve Theta=90°'nin tasarım üzerindeki yeri Şekil 4.30'da  mavi ok ile gösterilen uç kısımdır. Her bir bobinin ve dış çerçevenin köşesi için tasarımda bir (x,y) değeri hesaplanmakta ve tasarım yapılmaktadır.



Şekil 4.30. Dört kutuplunun 1/2 lik görüntüsü, belirtilen okun yeri takip edilerek döndürme işleminin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır

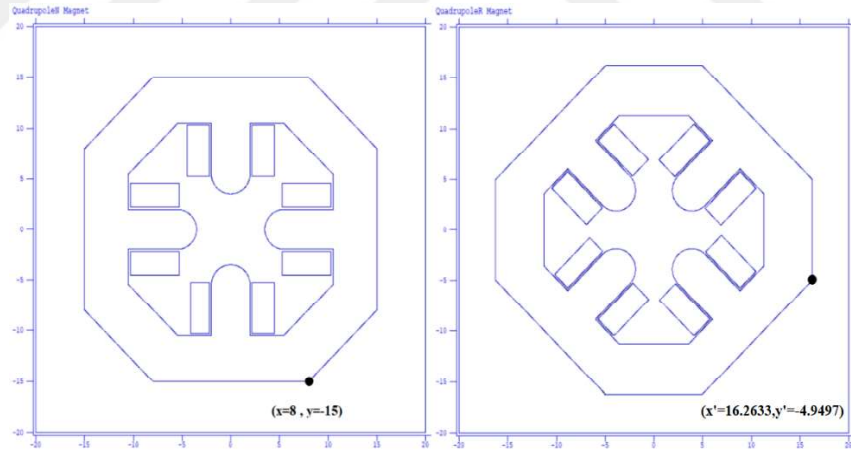
```
// writing points in the middle
fileout2 << "&reg mat=" << mat1 << ", " << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_4)*rota-(-h_3)*rota << ", y=" << (-h_4)*rota+(-h_3)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(-h_4)*rota << ", y=" << (-h_3)*rota+(-h_4)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(-d_1)*rota << ", y=" << (-h_3)*rota+(-d_1)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_3+h_0)*rota-(-d_1)*rota << ", y=" << (-h_3+h_0)*rota+(-d_1)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po nt=" << 2 << ", x0=" << (-h_3+h_0)*rota-(h_4-h_4)*rota << ", y0=" << (-h_3+h_0)*rota+(h_4-h_4)*rota << ", r=" << d_1 << ", theta=135." << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(d_1)*rota << ", y=" << (-h_3)*rota+(d_1)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_3)*rota-(h_4)*rota << ", y=" << (-h_3)*rota+(h_4)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-h_4)*rota-(h_3)*rota << ", y=" << (-h_4)*rota+(h_3)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-d_1)*rota-(h_3)*rota << ", y=" << (-d_1)*rota+(h_3)*rota << "&" << endl;
fileout2 << "&po x=" << (-d_1)*rota-(h_3-h_0)*rota << ", y=" << (-d_1)*rota+(h_3-h_0)*rota << "&" << endl;
```

Yukarıda belirtilen kod dizisi normal dört kutupluya aittir. Burada saat yönünün tersine döndürdüğümüz için 45° yazarak uçlardaki açı değeri değiştirilir. Şekil 4.31’de gösterilen  mavi ok ile gösterilen uç kısım, döndürülmüş tasarımdaki uç kısımla aynıdır. Döndürülmüş tasarım ile arasında 45° olduğundan her bir bobinin ve dış çerçevenin köşesi için tasarımda bir (x, y) değeri hesaplanmış ve 2×2 ’lik matrisle dönüşüm yapılarak yeni (x', y') koordinatları belirlendikten sonra normal dört kutuplu tasarımı yapılmıştır. SMQMDesigner kullanıcı arayüzünün kod kısmında ise $\text{rota}=0.7071$ diyerek matris sonucu elde ettiğimiz denklemlerde $\cos \theta$ ve $\sin \theta$ değerleri yerine rota değerleri yazarak x' ve y' değerleri elde edilmiştir.



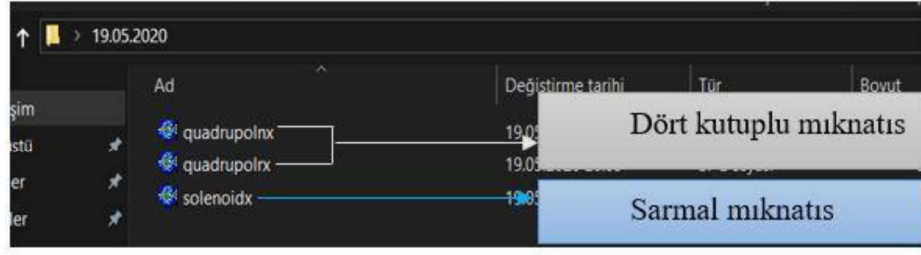
Şekil 4.31. Döndürme işleminden sonra normal dört kutuplunun durumu, Şekil 4.31'deki ok değişiminden döndürme işleminin yönü saat yönünün tersine olduğu anlaşılmaktadır

Şekil 4.32'de, tasarımda (x, y) değeri bilinen ve dönüşüm matrisi ile elde edilen (x', y') koordinatlarına bir örnektir. Burada siyah nokta ile gösterilen tasarım üzerindeki herhangi bir koordinatın saat yönünün tersinde ve 45° döndürülmesiyle elde edilen yeni koordinatlarına yer verilmiştir.



Şekil 4.32. Döndürülmüş dört kutuplu (solda) üzerinde herhangi bir noktanın saat yönünün tersi yönde döndürülmesiyle elde edilen normal dört kutuplu (sağda) üzerindeki yeni koordinatları

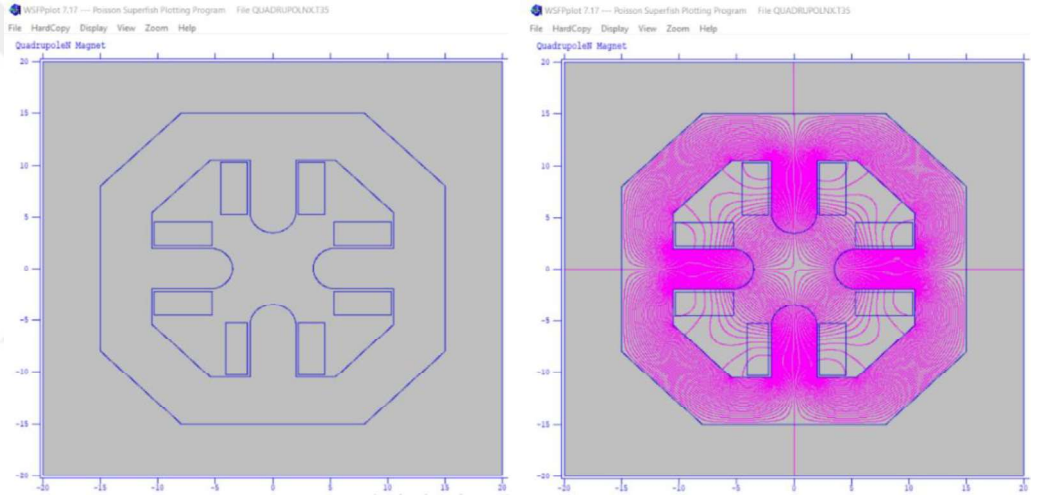
SMQMDesigner programında, pratiklik olması amacıyla tasarım yapılırken döndürülmüş dört kutuplu kullanıcı arayüzü için girilen veriler ile hem döndürülmüş hem de normal dört kutuplu tasarımın Superfish dosyası çıktı olarak verilmektedir.



Şekil 4.33. SMQMDesigner kullanılarak elde edilen Superfish dosyaları

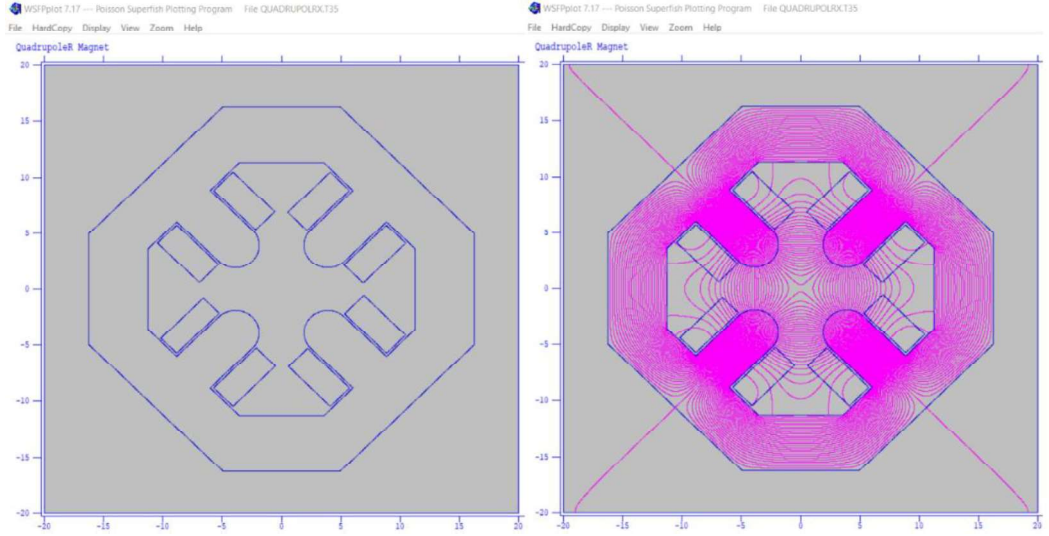
Şekil 4.33'te görüldüğü gibi quadrupolrx olarak adlandırılan döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı ve quadrupolnx ise normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı olarak verilir.

- quadrupolrx.sf = Skew Quadrupole Design (döndürülmüş dört kutuplu)



Şekil 4.34. Superfish dosyalarından quadrupolrx.sf döndürülmüş dört kutuplusunun "Automesh" ile çalıştırılmış tasarım (solda) ve "Run Poisson" ile elde edilen tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)

- quadrupolnx.sf = Normal Quadrupole Design (normal dört kutuplu)



Şekil 4.35. *Superfish* dosyalarından *quadrupole.sf* normal dört kutuplusunun “Automesh” ile çalıştırılmış tasarım (solda) ve “Run Poisson” ile elde edilen tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)

Her iki tasarımda manyetik alan dağılımının simetrik olması parçacık demetinin odaklanması için çok önemlidir. Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 (sağda)’daki ekran görüntülerinden manyetik alan dağılımının gösterildiği tasarımda bobinlerin çevresindeki manyetik alan dağılımına bakılarak simetriyi ve merkezde de sıfır alan değerini görmeliyiz. Bu sayede tasarımıımızın literatürdeki bir dört kutuplu tasarımı ile karşılaştırması yapılabilir.

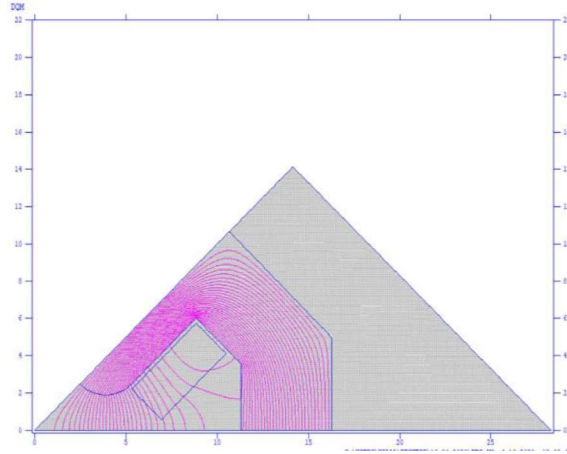
4.2.1. Grafik karşılaştırmalar

Geometrik tasarımdaki simetri gereği döndürülmüş (skew) dört kutuplu tasarım, normal dört kutuplu tasarım ve 1/8’lik normal dört kutuplu tasarım arasında karşılaştırma yapılmıştır, alan çizgileri ve manyetik alan dağılımları grafiksel olarak elde edilmiştir.

4.2.1.1. Karşılaştırma-1:

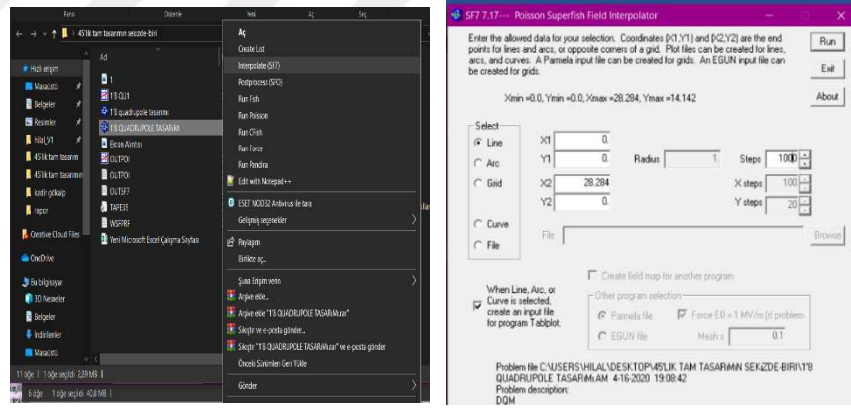
Bu kısımda 1/8’lik normal dört kutuplu tasarım (Hakan Çetinkaya, Sözlü iletişim, 24 Nisan 2020) ile normal dört kutuplu tasarımın geometri üzerinde manyetik alan çizgileri ve dağılımı karşılaştırılmıştır.

1/8’lik normal dört kutuplu tasarımı:



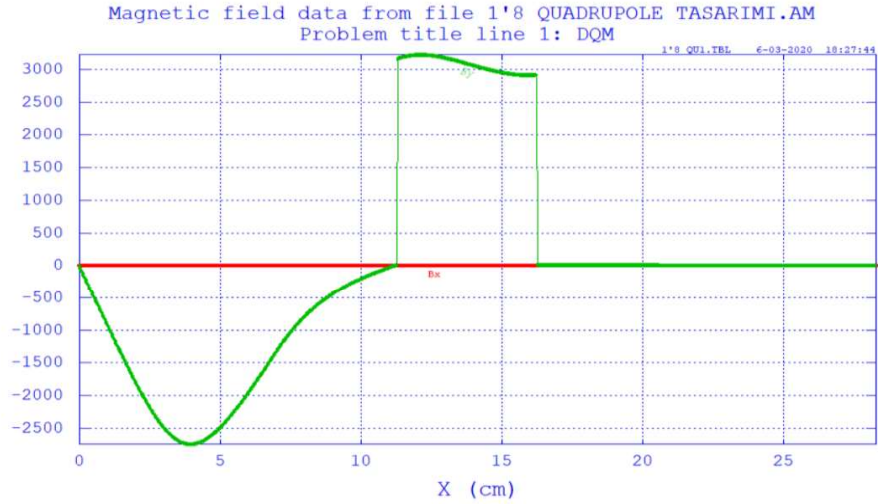
Şekil 4.36. Superfish dosyası dört kutuplunun 1/8'lik kısmı ile tasarımın manyetik alan dağılımı

1/8'lik normal dört kutuplu tasarım (Araş.Gör.Dr. Hakan Çetinkaya, Sözlü iletişim, 24 Nisan 2020) ile Superfish/Poisson programına göre simetri alınarak şeklin tamamlanmasıyla elde edilen, manyetik alan dağılımları karşılaştırılmıştır. Burada hem Superfish programının bir parçası çizilen tasarıma göre nasıl bir bütün haline getirildiği hem de döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alan dağılımının anlaşılması amaçlanmıştır.



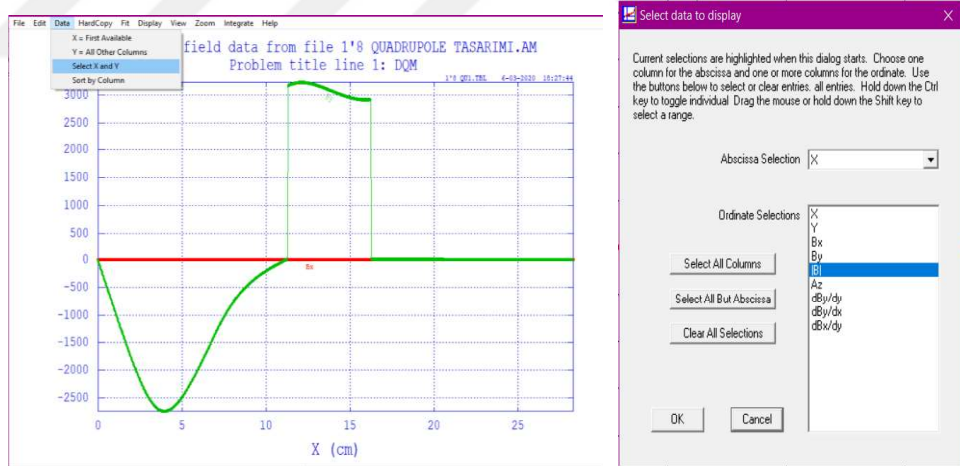
Şekil 4.37. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması (solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda)

Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan 'Poisson Superfish solution' dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate(SF7) seçeneği seçilir (bakınız Şekil 4.37). SF7 ekranında Line → [(0:0) (28.284:0)] → Steps=1000 → Run (sağda) tercihleri yapılır.



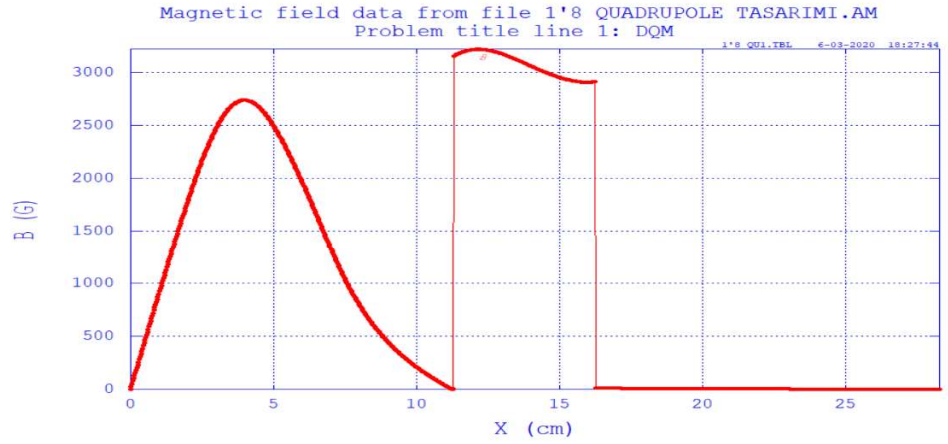
Şekil 4.38. Elde edilen yeni plot dosyasının çalıştırılmasıyla B_x ve B_y 'nin konuma bağlı manyetik alan dağılımı

Elde edilen grafikte B_x ve B_y değerleri x boyunca birlikte verilmiştir (ancak her iki alan bileşeni program tarafından ön tanımlı olarak aynı zamanda gösterilmediğinden) x eksenini boyunca manyetik alandaki değişimi görmek için manyetik alan büyüklüğüne ($|B|$) bakılması gerekir.



Şekil 4.39. Data seçilimi (solda), tekrar çizdirmek için manyetik alan $|B|$ seçilir (sağda)

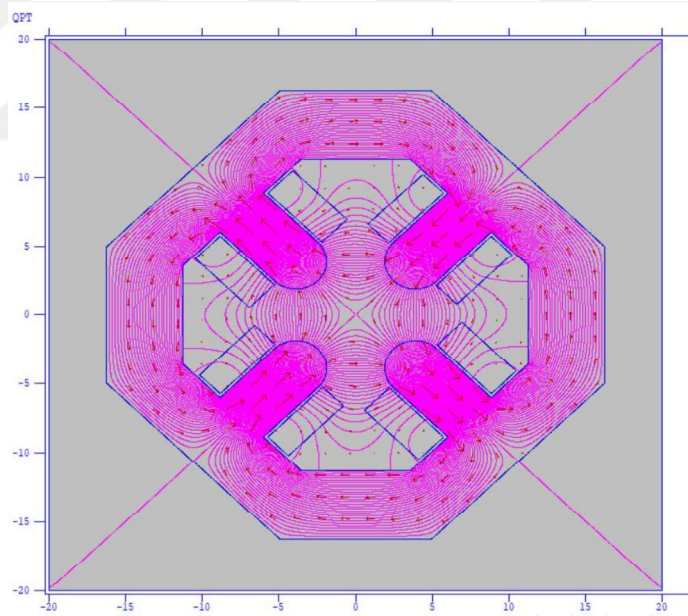
Şekil 4.39'da görüldüğü gibi 'Data' → 'Select X and Y' seçilerek istenilen değere göre grafik tekrar çizilir. Bunun için açılan ekranda yalnızca $|B|$ seçilir ve OK düğmesine basılır. Daha sonra Şekil 4.40'da olduğu gibi x - $|B|$ manyetik alan dağılım grafiği elde edilir.



Şekil 4.40. $x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

1/8'lik Dört kutuplu mıknatıs tasarımı grafiği: 1/8'lik tasarım için $x-|B|$ grafiği ile x eksenini boyunca manyetik alan dağılımı elde edilir. Y -ekseni boyunca alan dağılımı yoktur çünkü tasarım x -ekseni boyuncadır.

Normal dört kutuplu tasarımı:

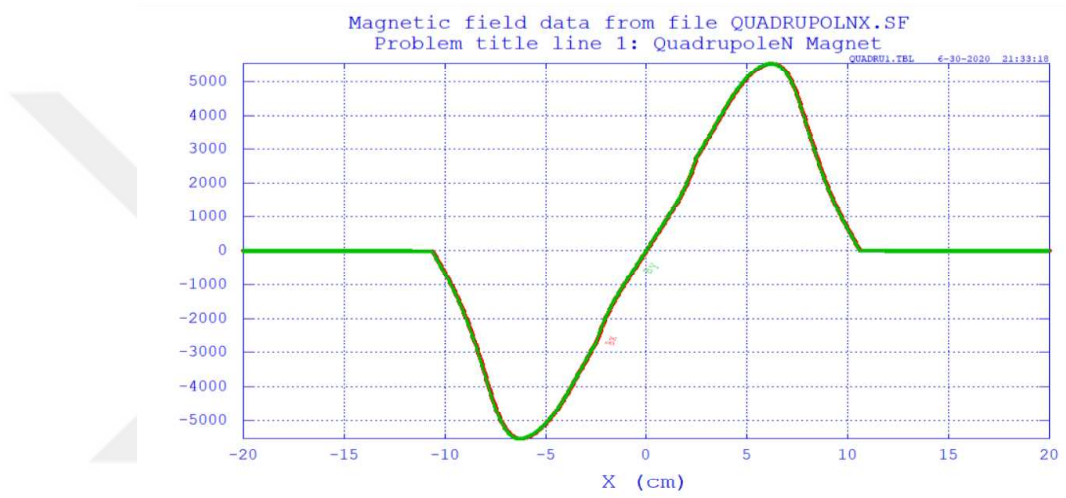


Şekil 4.41. Normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı

Burada pozitif yüklü iyon (veya proton) demeti sayfa düzleminden dışarıya (bize doğru) ise bu dört kutuplu düşey yönde demeti odaklayıcı, yatay yönde ise dağıtıcı özelliğe sahiptir. Bu dört kutuplu 90° döndürüldüğünde yatay yönde demeti odaklayıcı, düşey yönde ise dağıtıcı özelliğe sahip olur.

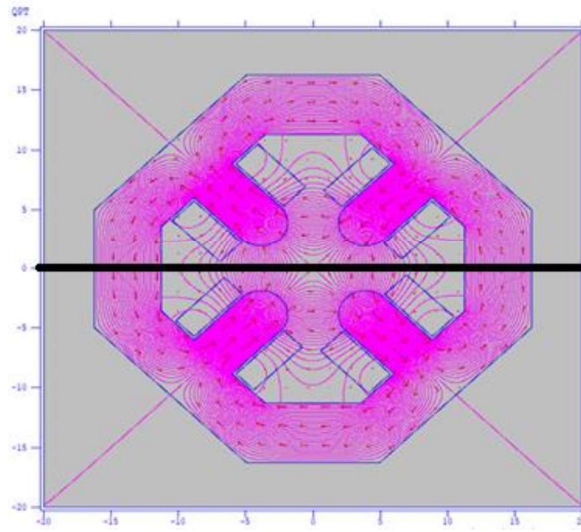
Dikkat edilmelidir ki .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçimi yapılmazsa, ön tanımlı değerler alınır. $[(-20: -20) (20:20)]$ bu iki nokta arasında bir çizgi olduğu düşünülür ve üzerindeki değerlere bakılır. Burada hipotenüs boyunca Bx ve By değerine bakılır, demirin içinden geçen manyetik alan dağılımı incelenir.

Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) → Steps=1000 → Run (sağda) tercihleri yapılırsa elde edilen grafik Şekil 4.42’de verilmiştir.



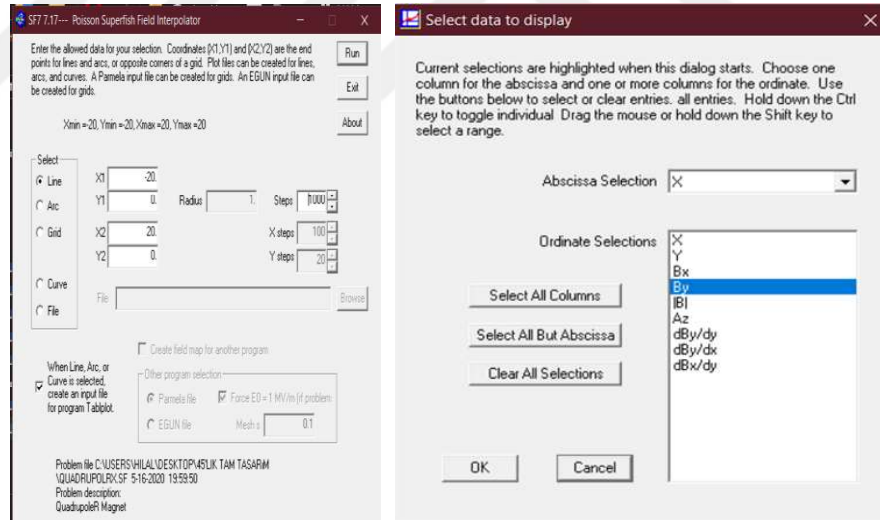
Şekil 4.42. Normal dört kutuplu mıknatısın manyetik alan bileşenlerinin konuma göre grafiği

Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçimi yapılır. Eğer $[(-20:0) (20:0)]$ arasındaki değerlere bakılırsa $y=0$ alıp x eksenini boyunca manyetik alan dağılımı elde edilir ve bu elde edilen grafik üzerinden karşılaştırma yapılabilir.



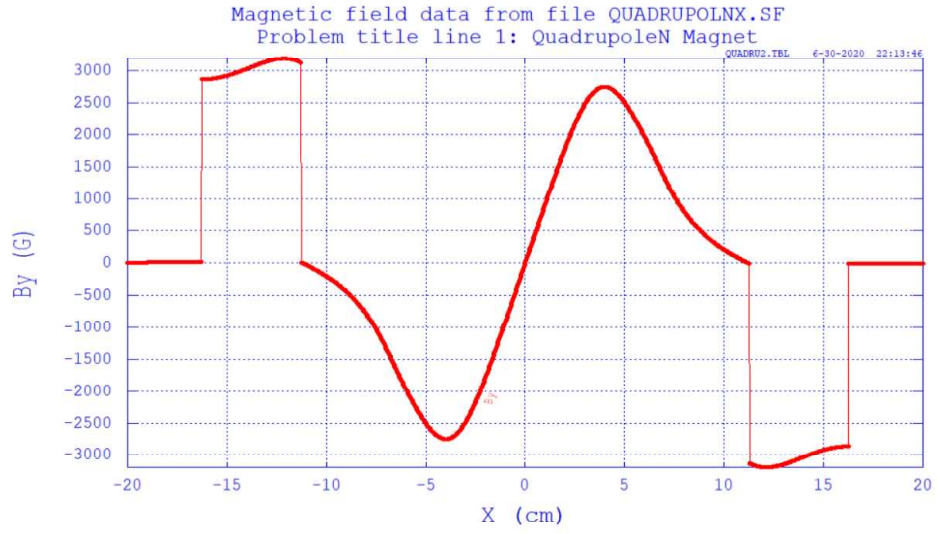
Şekil 4.43. Normal dört kutuplu tasarımda varsayılan siyah çizgi üzerinde noktaları seçilirse x eksenini boyunca olan manyetik alan dağılımı elde edilir

Şekil 4.44'te görüldüğü gibi .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan 'Poisson Superfish solution' dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçilir. SF7 ekranında Line $\rightarrow [(-20:0) (20:0)] \rightarrow$ Steps=1000 $\rightarrow$ Run tercihleri yapılır.

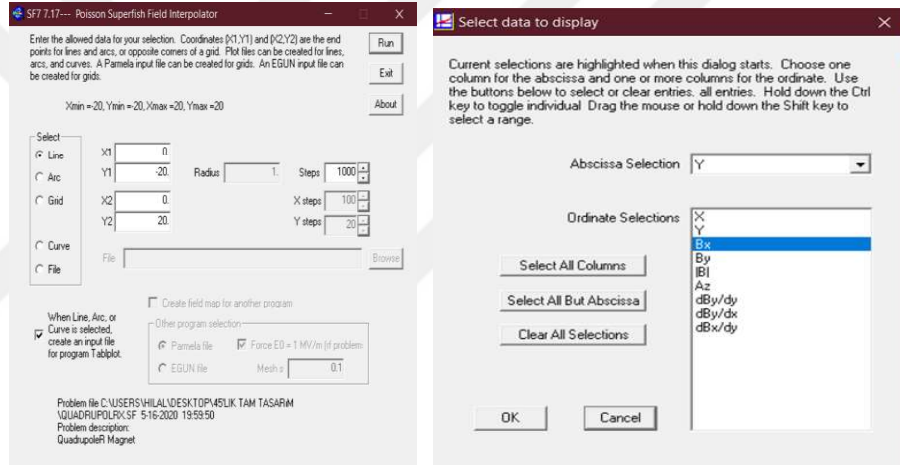


Şekil 4.44. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), DATA seçimleri (sağda)

Interpolate (SF7) seçimlerinden oluşturulan yeni grafik açılır ve Data $\rightarrow$ 'Select X and Y' seçilerek istenilen değere göre grafik tekrar çizilir, açılan ekranda 'Abscissa Selection' $\rightarrow$ 'X' olarak, 'Ordinate Selections' $\rightarrow$ 'By' alan bileşeni seçilir ve 'OK' düğmesine basılır.

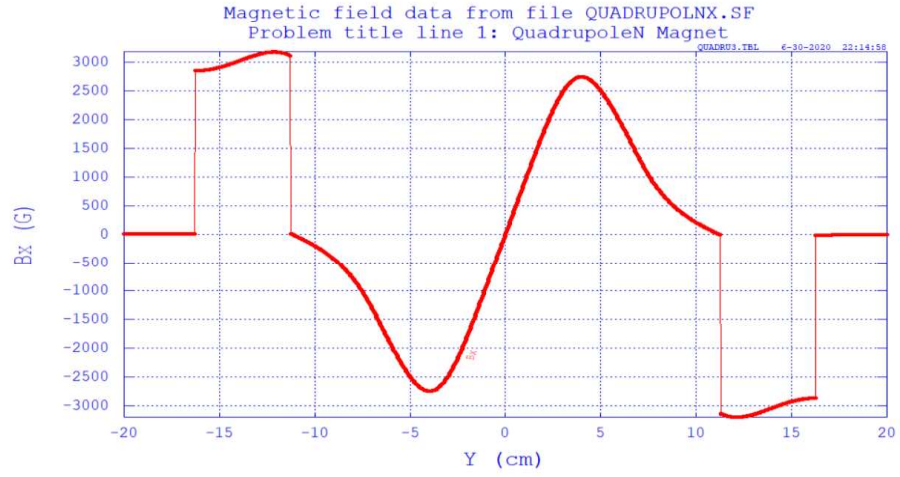


Şekil 4.45. Normal dört kutuplu mıknatısın x - B_y bağlı manyetik alan dağılımı grafiği



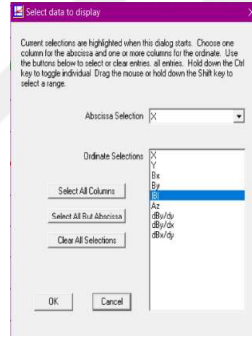
Şekil 4.46. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri (sağda)

Interpolate (SF7) seçimlerinden oluşturulan yeni grafik açılır ve Data → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafik tekrar çizilir, Açılan ekranda ‘Abscissa Selection’→‘Y’ olarak, ‘Ordinate Selections’→‘Bx’ olarak seçilir ve ‘OK’ düğmesine basılır.

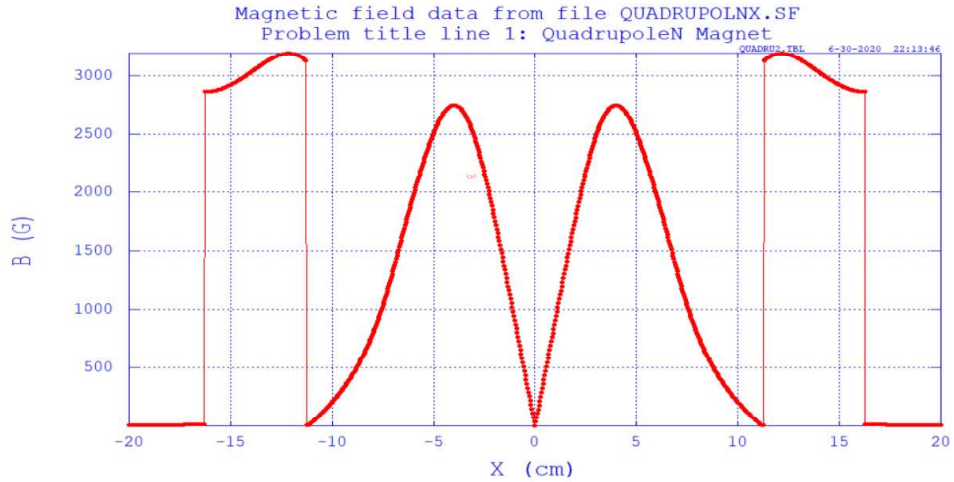


Şekil 4.47. Normal dört kutuplu mıknatısın y - B_x bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

Burada x - B_y manyetik alan dağılımı grafiğinde Data → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafiğimiz tekrar çizilir, bu sefer karşılaştıracığımız 1/8 döndürülmüş dört kutuplu tasarımı olacağından x - $|B|$ tercihi yapılır.



Şekil 4.48. Manyetik alan tercihi x - $|B|$ seçilir

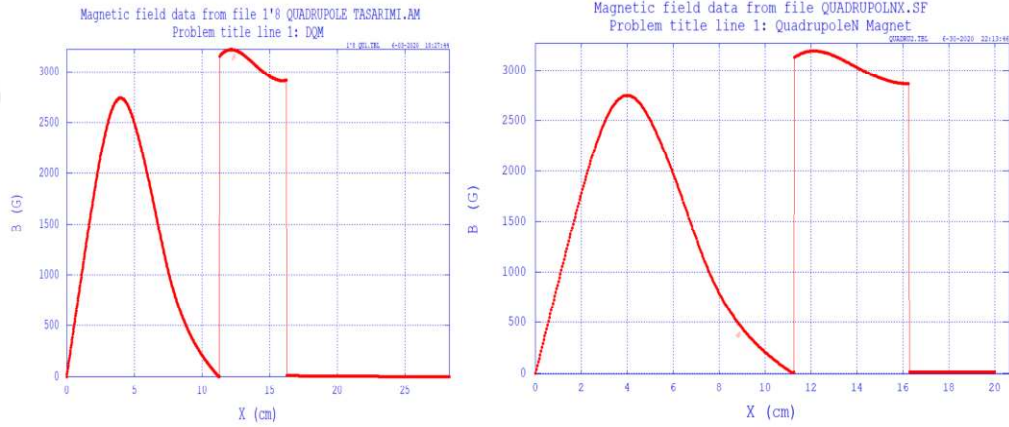


Şekil 4.49. Normal dört kutuplu mıknatısın x - $|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

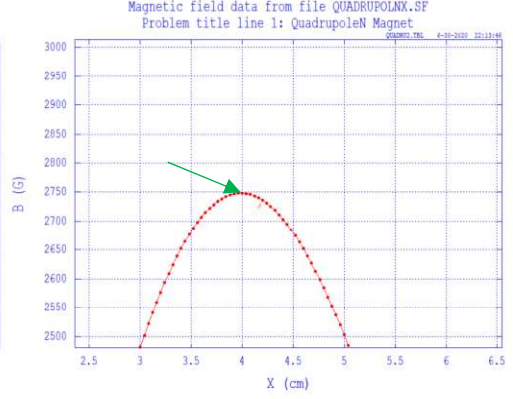
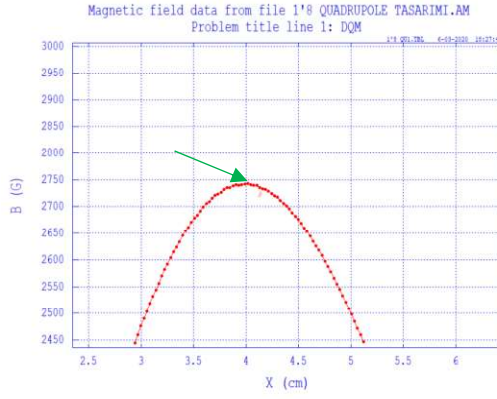
Normal dört kutuplu grafiği: Normal dört kutuplu tasarım için $x-|B|$ grafiği ile x eksenini boyunca manyetik alan dağılımı elde edilir. Grafikte y ekseninin sıfır olduğu değere karşı gelen alan dağılımı seçilir, $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımı ile karşılaştırma yapılırken aynı bölgedeki değerler karşılaştırılabilir. Bunun için yukarıda oluşturduğumuz 'Tablplot input' dosya türü açılarak grafikler incelenir.

Bu karşılaştırmayı yaparken, normal dört kutuplu tasarımın x eksenini boyunca manyetik alan dağılımını görmek için $[(-20:0) (20:0)]$ tercihi ile x değeri ± 20 aralığı boyunca alınmıştır. Burada $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımın $+x$ eksenini doğrultusunda alan ile normal dört kutuplu mıknatısla alanını karşılaştırmak için 'Tablplot input' dosya türü açılır (Şekil 4.49). Açılan grafikte imleç ile aynı bölge seçilir ve karşılaştırma yapılır. İstenirse 'Zoom' $\rightarrow$ 'Original' yakınlaştırılan bölge ilk haline geri çevrilebilir.

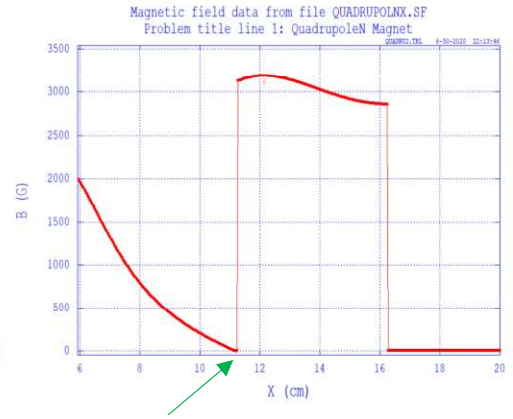
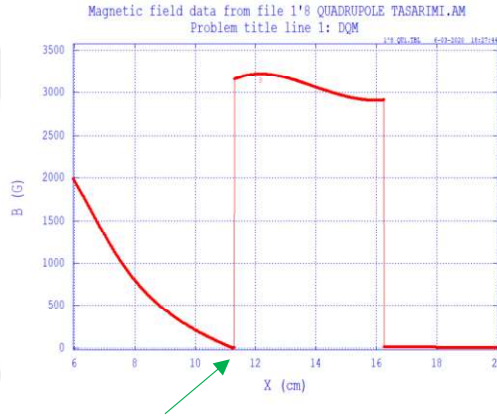
$1/8$ 'lik dört kutuplu ile normal dört kutuplu mıknatısların manyetik alan dağılım grafikleri için ilk olarak $+x$ eksenini boyunca, ikinci olarak tepe noktaları değerleri ve son olarak da demire girdiği değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 4.50. $1/8$ 'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklüğü $|B|$ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarisının manyetik alan büyüklük $|B|$ (sağda) konuma (x) göre grafikleri



Şekil 4.51. 1/8'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklük $|B|$ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarısının manyetik alan büyüklük $|B|$ (sağda) konuma (x) göre grafiklerin maksimum olduğu noktalarının karşılaştırılması

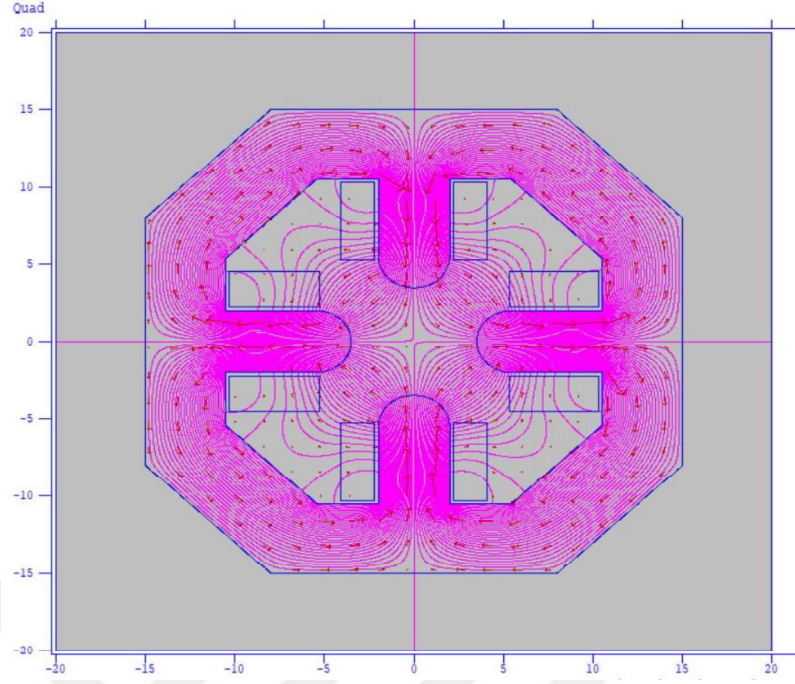


Şekil 4.52. 1/8'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan büyüklük $|B|$ (solda), normal dört kutuplu tasarımın yarısının manyetik alan büyüklük $|B|$ (sağda) konuma (x) göre grafiklerin demirle kesildiği bölgedeki değerlerin karşılaştırılması

4.2.1.2. Karşılaştırma-2:

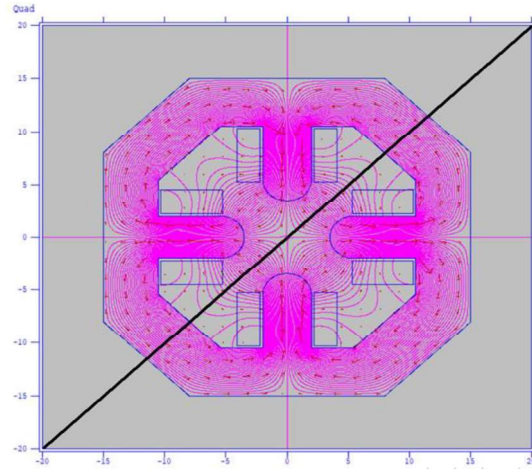
Bu kısımda normal dört kutuplu mıknatıs tasarımı ile döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı karşılaştırması yapılmıştır.

Döndürülmüş (skew quadrupole) dört kutuplu tasarımı:



Şekil 4.53. Döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı

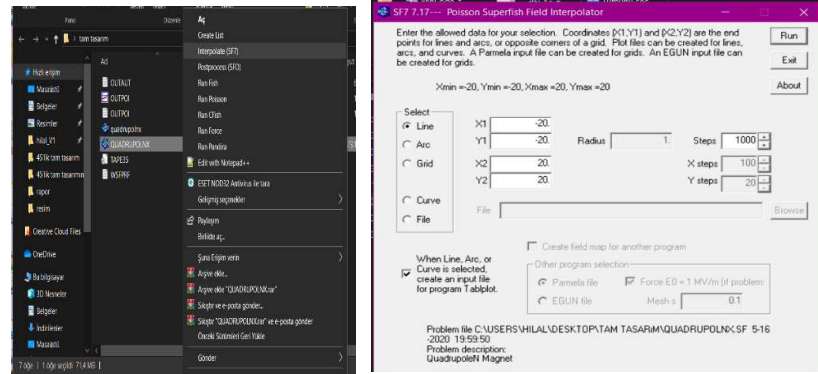
Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçimi yapılmazsa, $[(-20: -20) (20:20)]$ bu iki nokta arasında bir çizgi çizdiği düşünülür ve üzerindeki alan değerlerine bakılır. Burada hipotenüs boyunca Bx ve By değeri demirin içinden geçen manyetik alan dağılımını vermektedir.



Şekil 4.54. Döndürülmüş dört kutuplu tasarımda varsayılan siyah çizgi üzerinde noktalar seçilirse hipotenüs boyunca olan manyetik alan dağılımı elde edilir

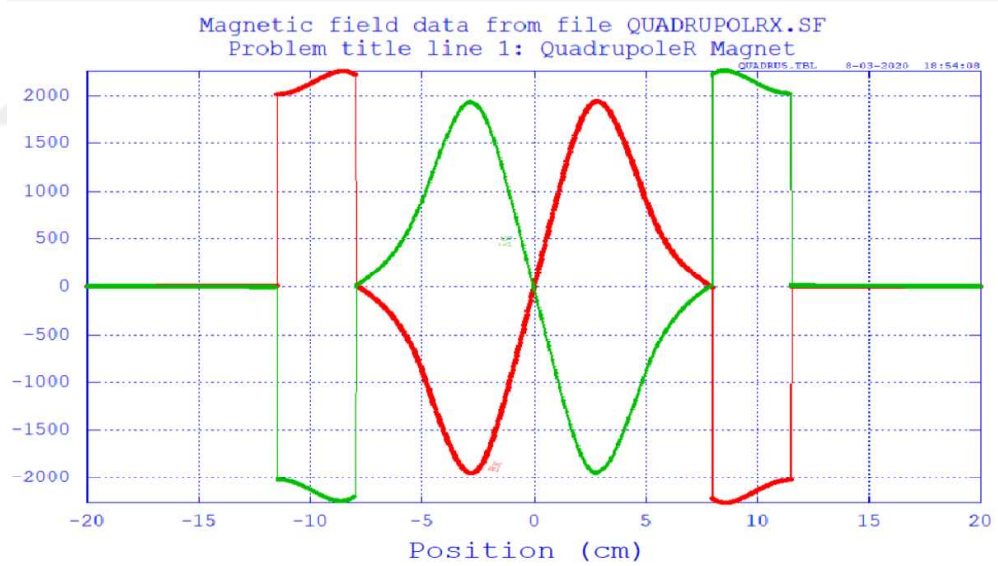
Döndürülmüş dört kutuplu tasarımda x ve y ekseninin aynı olduğu değerler seçilerek varsaydığımız siyah çizgi üzerindeki manyetik alan dağılımını elde ederiz. $[(-$

20: -20) (20:20)] tercihi ile elde ettiğimiz $x-|B|$ grafiği diğer (normal ve 1/8'lik dört kutuplu mıknatıs tasarımları) grafiklerle karşılaştırılabilir.



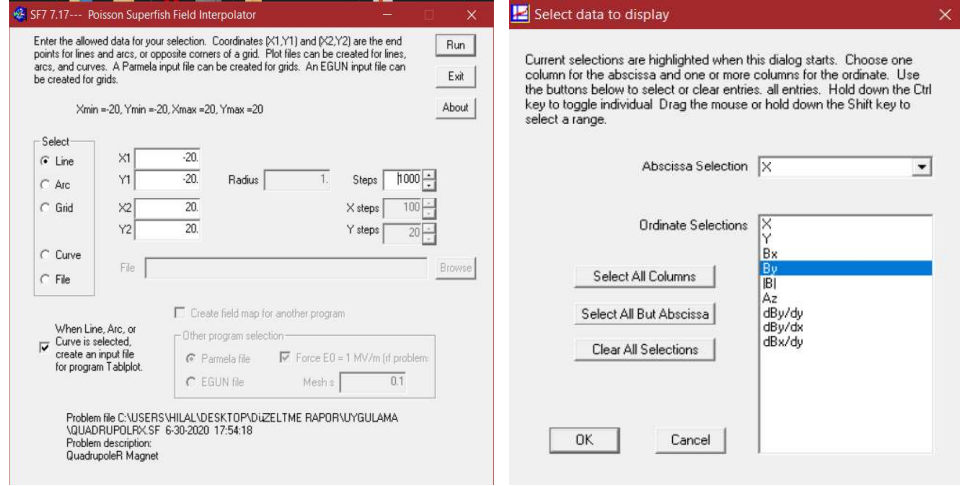
Şekil 4.55. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması (solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda)

Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan 'Poisson Superfish solution' dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçilir. SF7 ekranında Line → [(-20: -20) (20:20)] → Steps=1000 → Run tercihleri yapılır.



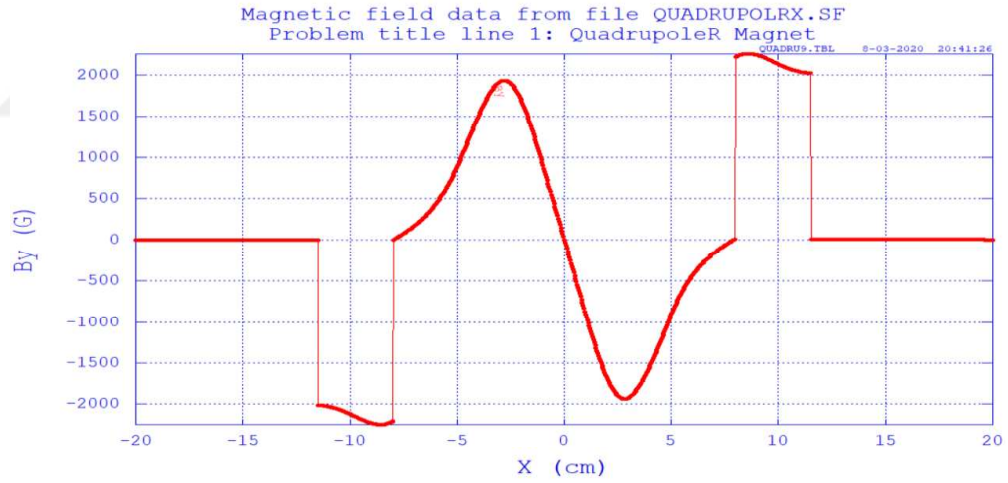
Şekil 4.56. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alanının Bx ve By bileşenlerinin grafiği

Burada ön tanımlı olarak Bx ve By aynı grafikte gösterilir. Bx ve By ayrı ayrı gösterilmek istenirse aşağıda anlatıldığı gibi işlem yapılır:



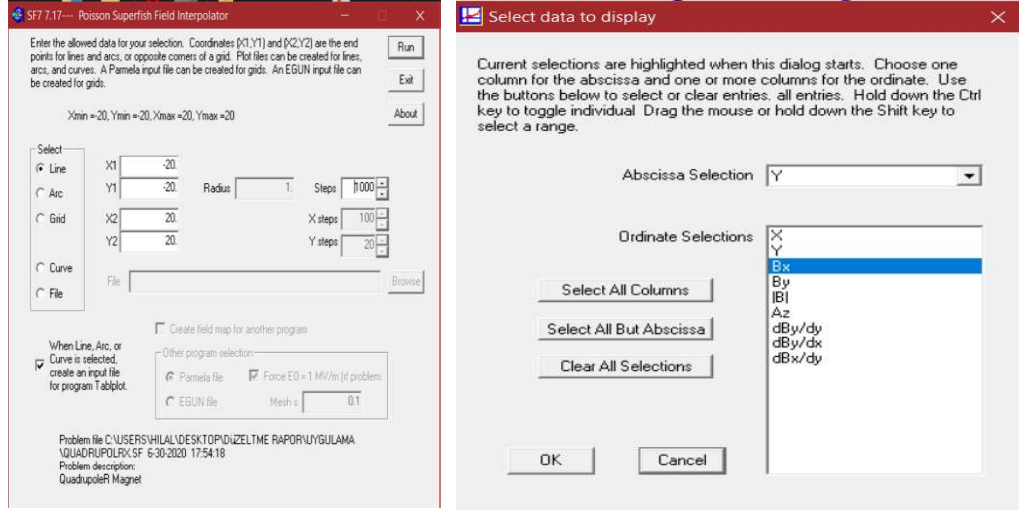
Şekil 4.57. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri (sağda)

Interpolate (SF7) seçimlerinden sonra oluşturulan yeni grafik açılır ve Data → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafiğimiz tekrar çizilir, açılan ekranda ‘Abscissa Selection’→‘X’ olarak, ‘Ordinate Selections’→‘By’ olarak seçilir ve ‘OK’ düğmesine basılır.



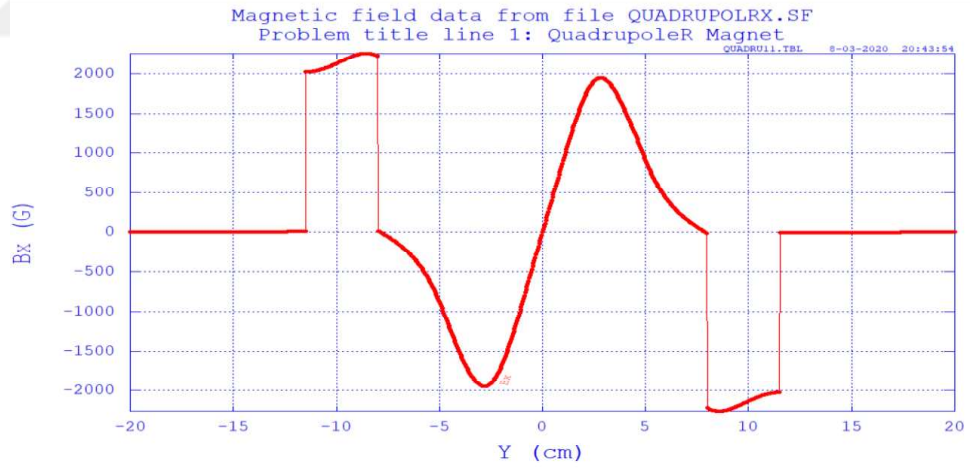
Şekil 4.58. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın x-By bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

Burada .sf dosyası Automesh ile açılır ve oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçilir. SF7 ekranında Steps=1000 → ‘Run’ tercihleri yapılır.



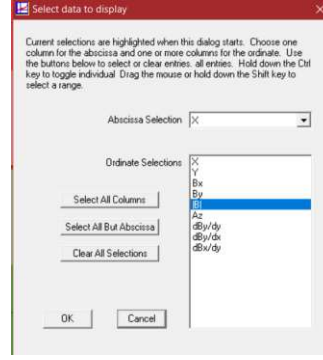
Şekil 4.59. Interpolate (SF7) seçimleri (solda), data seçimleri (sağda)

Interpolate (SF7) seçimlerinden sonra oluşturulan yeni grafik açılır ve data → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafik tekrar çizilir, açılan ekranda ‘Abscissa Selection’ → ‘Y’ olarak, ‘Ordinate Selections’ → ‘Bx’ olarak seçilir ve ‘OK’ düğmesine basılır. Elde edilen grafik aşağıdaki gibidir. Şekil 4.58’den de anlaşılacağı gibi x-By grafiği ile y-Bx grafiğinin zıt yönlü olması beklenmektedir.

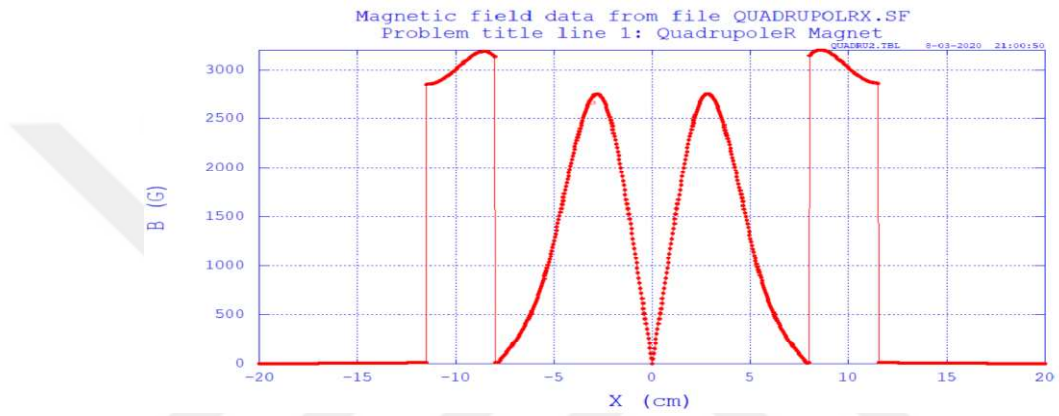


Şekil 4.60. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın y-Bx bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

DATA → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafiğimiz tekrar çizilir, Açılan ekranda Abscissa Selection: ‘X’ olarak, Ordinate Selections: |Bx| olarak seçilir ve OK düğmesine basılır.



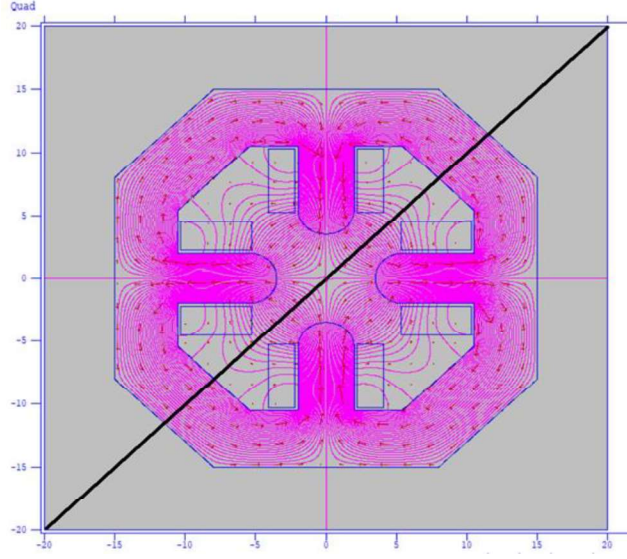
Şekil 4.61. DATA seçimleri, $x-|B|$ tercihi yapılır



Şekil 4.62. Döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın $x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği

Döndürülmüş Dört kutuplu Grafiği:

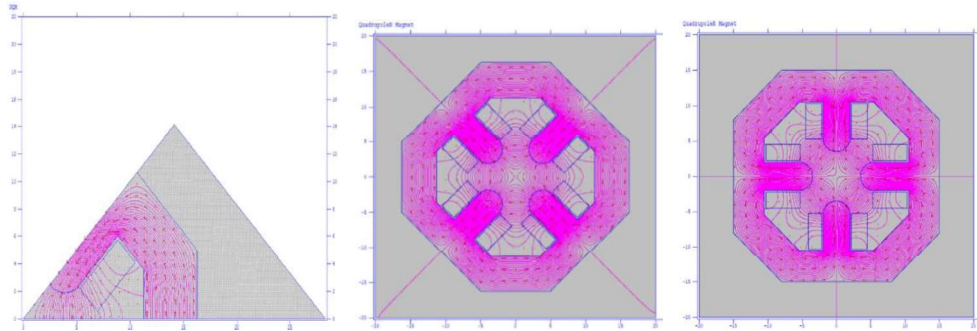
Döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımının çözüm dosyasındaki veriler grafik programlarıyla okunmaktadır. Ancak grafikte görülen değerlerle dosyada kayıtlı değerlerin bir karşılaştırması yapılmış ve $x=y$ doğrusu boyunca manyetik alan değerleri Excel dosyasına aktarılmıştır. Burada elde edilen grafiğe göre maksimum olduğu değerler $x=3.90$ cm ve $|B|=2750$ G civarındadır ve bu değerler diğer iki grafikte benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.63. Döndürülmüş dört kutuplu'nun x eksenini üzerindeki manyetik alan dağılımından varsaydığımız siyah çizgi üzerinden noktaları seçersek normal dört kutuplu'nun x eksenini boyunca olan manyetik alan dağılımlarını karşılaştırabiliriz

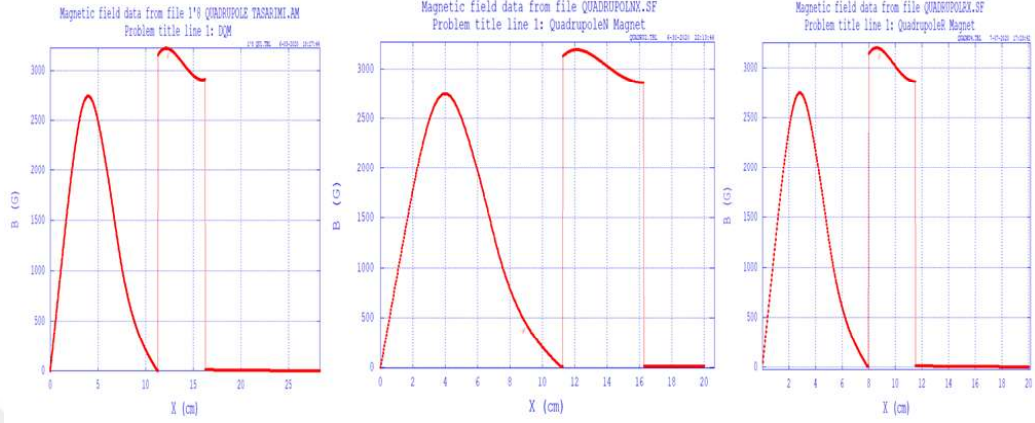
Daha önce bahsettiğimiz gibi döndürülmüş dört kutuplu tasarımında x ve y ekseninin aynı olduğu değerler seçilerek varsaydığımız siyah çizgi üzerindeki manyetik alan dağılımı elde edilir. $[(-20: -20) (20:20)]$ tercihi ile elde ettiğimiz x-|B| grafiğinin diğer grafiklerle karşılaştırması yapılabilir.

1/8'lik dört kutuplu ve normal dört kutuplunun alandaki tepe noktaları ve demire girdiği değerler yakinken, döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın manyetik alan dağılımı grafiğinde tepe noktası ve demire girdiği değerler farklılık göstermektedir. Bu 45° açı ile döndürülürken her bir noktanın 2×2 'lik dönme matrisi hesaplanarak alınmasından kaynaklanmaktadır (E4.1, E4.2, E4.3).



Şekil 4.64. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarım (solda), normal dört kutuplu tasarım (ortada) ve döndürülmüş dört kutuplu tasarım (sağda)

Tasarımların manyetik alan dağılımı grafikleri için ilk olarak +x eksenı boyunca, ikinci olarak tepe noktaları değeri ve son olarak da demire girdiği değeri karşılaştırılması yapılmıştır.

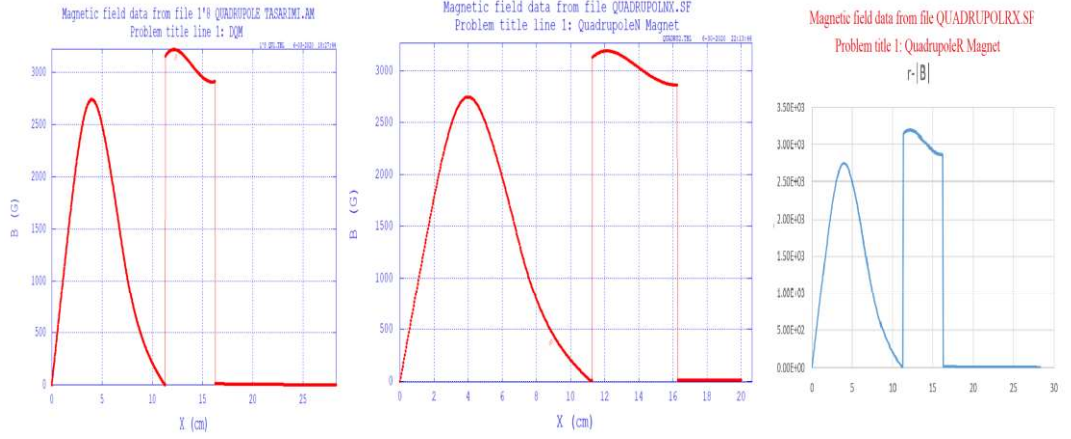


Şekil 4.65. $x-|B|$ bağılı manyetik alan dağılımı grafikleri; 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda), normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda)

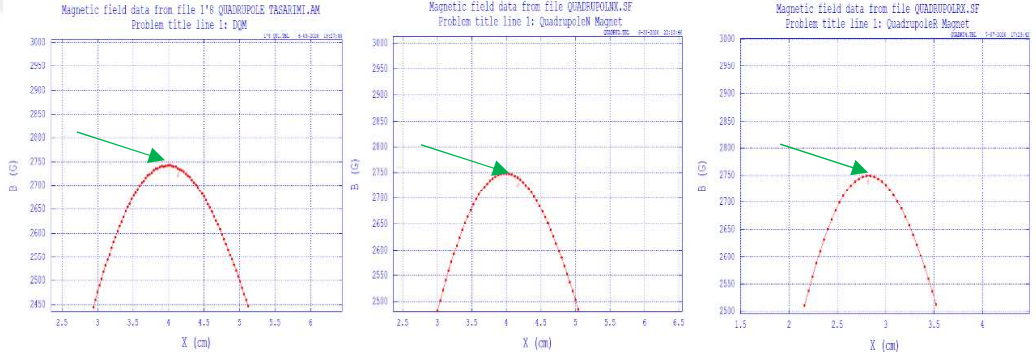
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	X	Y	Bx	By	B	Az	dBx/dy	dBy/dx	dBx/dy							
2	(cm)	(cm)	(G)	(G)	(G)	(G-cm)	(G/cm)	(G/cm)	(G/cm)		cos(45)	sin(45)	x'	y'		r
3	-20	-20	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-7.14E-01	7.14E-01	7.14E-01		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.83E+01		28.2843
4	-19.96	-19.96	2.86E-02	-2.86E-02	4.05E-02	1.14E-03	-7.16E-01	-3.77E-03	7.16E-01		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.82E+01		28.2277
5	-19.92	-19.92	5.76E-02	-5.77E-02	8.15E-02	4.60E-03	-7.23E-01	-8.71E-03	7.23E-01		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.82E+01		28.1711
6	-19.88	-19.88	8.68E-02	-8.71E-02	1.23E-01	1.04E-02	-1.89E-02	1.07E-03	1.07E-03		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.81E+01		28.1146
7	-19.84	-19.84	1.16E-01	-1.16E-01	1.64E-01	1.85E-02	-8.42E-03	-2.30E-05	-2.30E-05		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.81E+01		28.058
8	-19.8	-19.8	1.44E-01	-1.45E-01	2.04E-01	2.89E-02	-1.23E-04	7.54E-04	7.54E-04		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.80E+01		28.0014
9	-19.76	-19.76	1.73E-01	-1.74E-01	2.45E-01	4.16E-02	-2.29E-02	-2.15E-03	-2.15E-03		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.79E+01		27.9449
10	-19.72	-19.72	2.02E-01	-2.02E-01	2.86E-01	5.67E-02	-1.05E-02	-3.29E-03	-3.29E-03		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.79E+01		27.8883
11	-19.68	-19.68	2.31E-01	-2.32E-01	3.27E-01	7.40E-02	-5.42E-02	2.05E-03	2.05E-03		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.78E+01		27.8317
12	-19.64	-19.64	2.61E-01	-2.61E-01	3.69E-01	9.37E-02	-3.83E-02	2.64E-03	2.64E-03		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.78E+01		27.7752
13	-19.6	-19.6	2.89E-01	-2.90E-01	4.10E-01	1.16E-01	-6.12E-03	4.64E-04	4.64E-04		7.07E-01	7.07E-01	0.00E+00	-2.77E+01		27.7186

Şekil 4.66. QUADRUPOLEX.SF dosyası için oluşturulan Excel tablosu

Excel tablosu Şekil 4.63'te varsayılan siyah çizgiyi baz almak için x ve y değeri aynı olan noktalar seçilir. Saat yönünün tersi yönde 45° döndürüldüğü için $\cos 45^\circ$ ve $\sin 45^\circ$ değeri hesaplanır, x' ve y' değeri (E4.1, E4.2, E4.3)'de kullanılan denklemden yazılarak hesaplanır ve burada r olarak alınan değer üçgen hipotenüs hesabından $x^2 + y^2 = r^2$ yazılır.

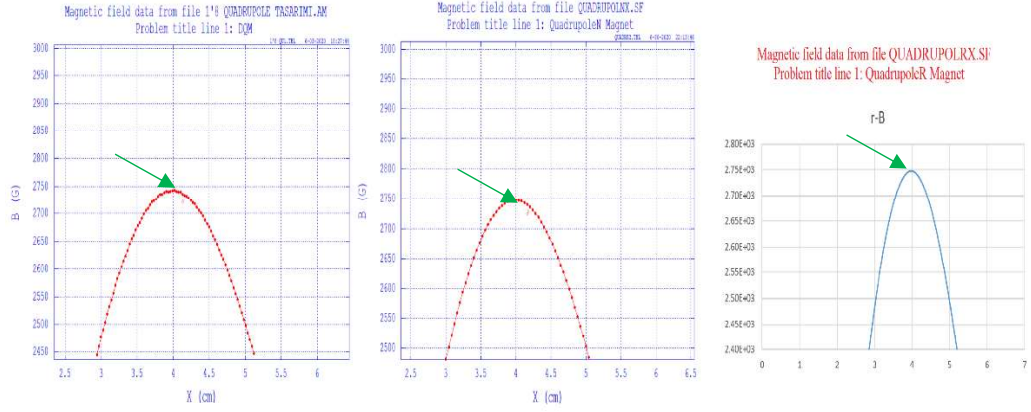


Şekil 4.67. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) $x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın $r-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiği (sağda)



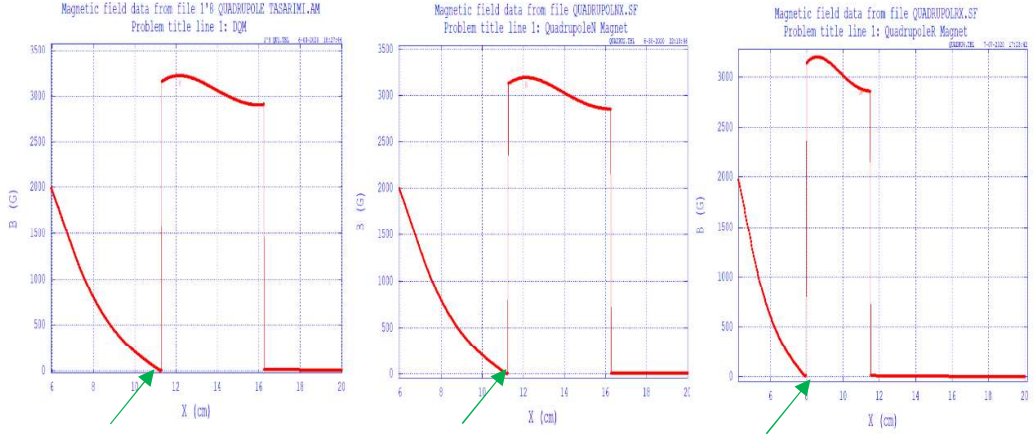
Şekil 4.68. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda), normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda) maksimum olduğu noktalarının karşılaştırılması

Şekil 4.68'de solda ve ortadaki $x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiklerinde tepe noktalarının karşılaştırılması yapıldığında, manyetik alan dağılımının maksimum olduğu yerlerin sayısal değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4.68'deki üç grafiğe x eksenini boyunca manyetik alan dağılımına bakıldığında, döndürülmüş dört kutuplu mıknatısın maksimum aldığı değerlerin farklı olmasının sebebi normal dört kutuplu ile bunun arasında dönüşüm matrisi değeri kadar bir farkın olmasıdır.



Şekil 4.69. 1/8'lik normal dört kutuplu (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) x - $|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın r - $|B|$ bağlı manyetik alan dağılım grafiği (sağda) maksimum olduğu noktalarının karşılaştırılması

Burada Excel ile döndürme matrisi uygulanarak elde edilen grafik Şekil 4.69'da görüldüğü gibi 1/8'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı ile normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı aynı değerdedir. Excel dosyasından elde edilen grafikte maksimum olduğu değer $x=3.90$ ve $|B|=2750$ civarındadır. Bu değerler diğer iki grafikte bire bir uyumludur.



Şekil 4.70. 1/8'lik dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (solda) normal dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (ortada), döndürülmüş dört kutuplu tasarımın manyetik alan dağılımı (sağda) demirle kesildiği bölgedeki değerlerin karşılaştırılması

Şekil 4.70'de görüldüğü gibi x - $|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiklerinde 1/8'lik dört kutuplu tasarım ile normal dört kutuplu tasarımın demire girdiği değerler 11 civarındadır, döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımında 8 civarında aldığı değerle farklıdır. Daha önce yapıldığı gibi dört kutuplu mıknatısta döndürme matrisi nedeniyle sayısal değerleri farklıdır ve oluşturulan Excel dosyasında karşılaştırılma yapılmalıdır.

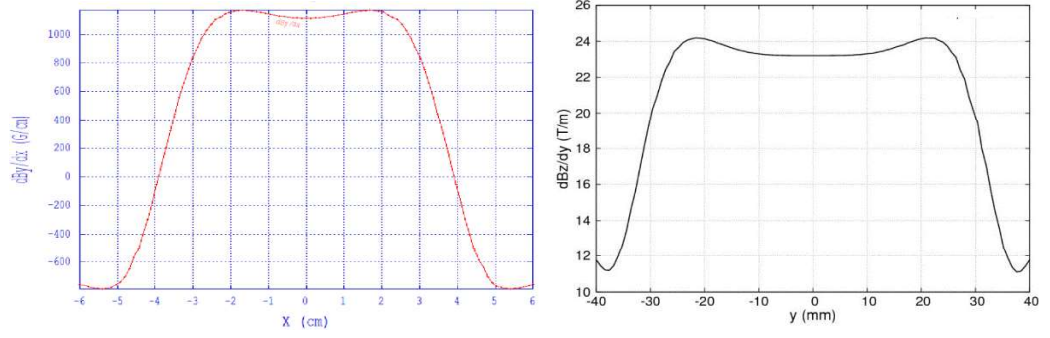


Şekil 4.71. 1/8'lik normal dört kutuplu tasarımın (solda) ve normal dört kutuplu tasarımın (ortada) $x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafikleri ile Excel dosyasında oluşturulan hipotenüs üzerindeki manyetik alan dağılımını veren döndürülmüş dört kutuplu tasarımın $r-|B|$ bağlı manyetik alan dağılım grafiği (sağda) demirle kesildiği bölgedeki değerlerin karşılaştırılması

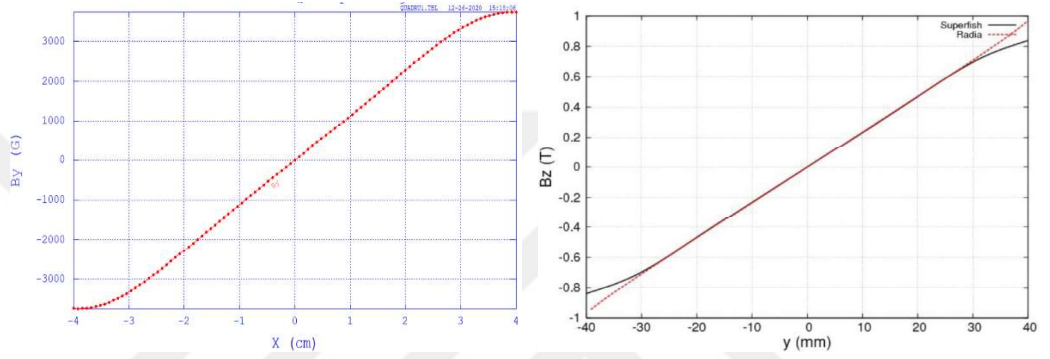
$x-|B|$ bağlı manyetik alan dağılımı grafiklerinde 1/8'lik dört kutuplu tasarımı ile normal dört kutuplu tasarımın demire girdiği değerler 11 civarında ve Excel dosyasından elde edilen grafikte 11 civarındadır. Şekil 4.71'de verilen üç grafiğin demire girdiği noktaların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Literatürde benzer bir çalışma ile karşılaştırma için özel tasarım parametreleri seçilmiştir: Dört kutuplu mıknatısın akım değeri $NxI = 6144$ A alınmıştır. Burada elde edilen sonuçlar (yatay eksen birimi cm ve düşey eksen birimi G/cm alınmıştır), bu konuda literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuçlarla (yatay eksen birimi mm ve düşey eksen birimi T/m alınmıştır) karşılaştırılmış ve manyetik alan gradientinin uyumlu olduğu görülmüştür (bakınız Şekil 4.72). Karşılaştırmada birimlerin dönüşümü ($T/m = 10^4$ G/100 cm $= 10^2$ G/cm) göz önüne alınmıştır. Tasarım geometrileri bire bir aynı değildir (örneğin merkezden (0;0) itibaren kutup noktalarına olan uzaklıklar az bir farklılık göstermektedir) bu yüzden yatay ve düşey eksenindeki sayısal değerler az bir farklılık göstermektedir.

Böylece, literatürde yapılan çalışmada $y \rightarrow x$ ve $B_z \rightarrow B_y$ dönüşümü yapılarak bu çalışmadaki sonuçlarla şekilsel olarak benzerlik gösterdiği görülmüştür (bakınız Şekil 4.73).



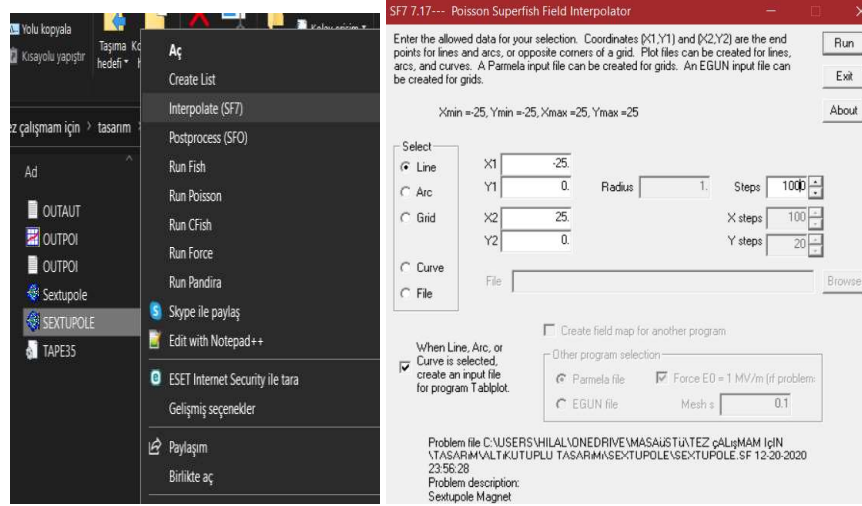
Şekil 4.72. Dört kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan gradiyenti dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz 2017) elde edilen sonuç (sağda)



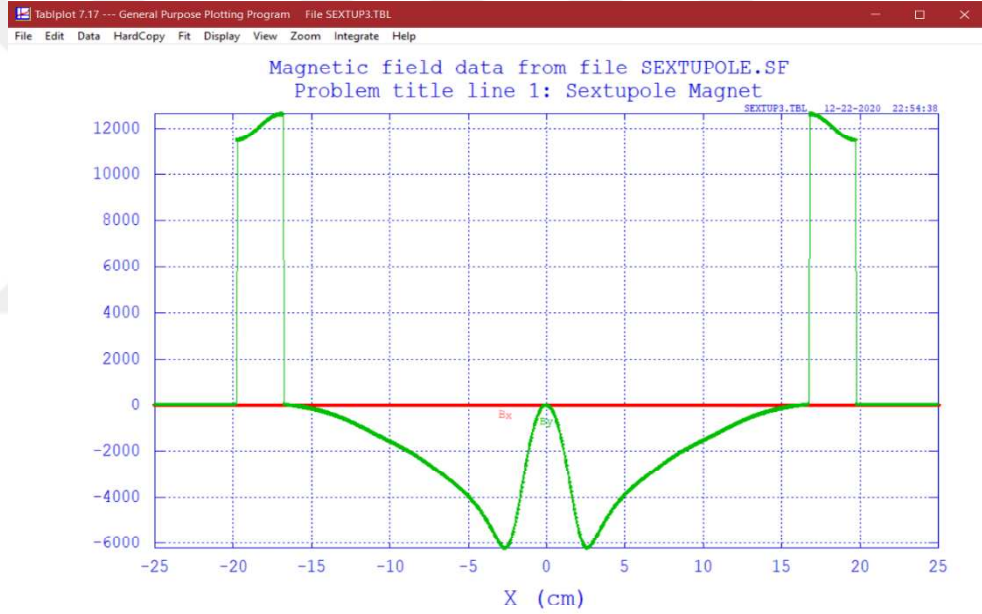
Şekil 4.73. Dört kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan bileşeni; bu çalışmada elde edilen sonuç (solda), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuç (sağda)

4.3. Altı Kutuplu Mıknatıs

Altı kutuplu mıknatıs için geometrik şekil tanımlanarak, girilen koordinatlar ve sarımlardaki akım değerleri bir konfigürasyon dosyasında hazırlanmıştır. Poisson&/Superfish paketi içinde bu dosya (Sextupole.sf dosyası) Automesh ile açılır. Oluşan ‘Poisson Superfish solution’ dosyasında sağ tıklanır ve Interpolate (SF7) seçeneği seçilir. SF7 ekranında Line → [(-25:0) (25:0)] → Steps=1000 → Run (bakınız Şekil 4.74) tercihleri yapılır.

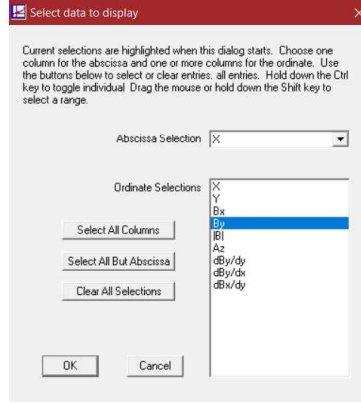


Şekil 4.74. Superfish dosyasının SF7 ile çalıştırılması(solda), SF7'nin Interpolator ekranı ve seçilen değerler (sağda)



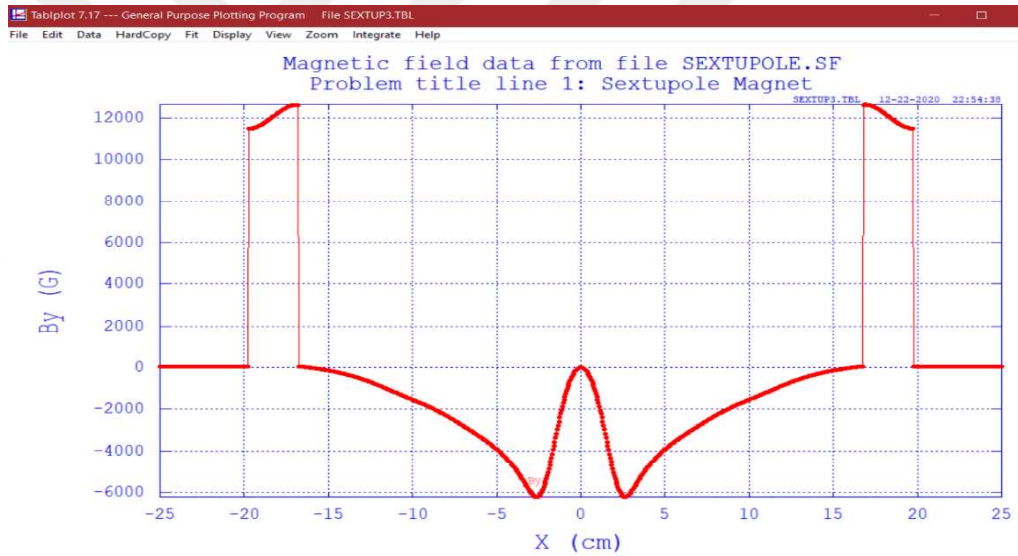
Şekil 4.75. Altı kutuplu mıknatıs için elde edilen plot dosyasının çalıştırılmasıyla B_x ve B_y bağlı manyetik alan dağılımı

Elde edilen grafikte B_x - B_y değerleri x boyunca birlikte verilmiştir ancak x eksenini boyunca manyetik alandaki değişimi B_y değeri ile seçilir.



Şekil 4.76. Data seçilimi yapıldıktan sonra tekrar çizdirmek için manyetik alan tercihleri By seçilir

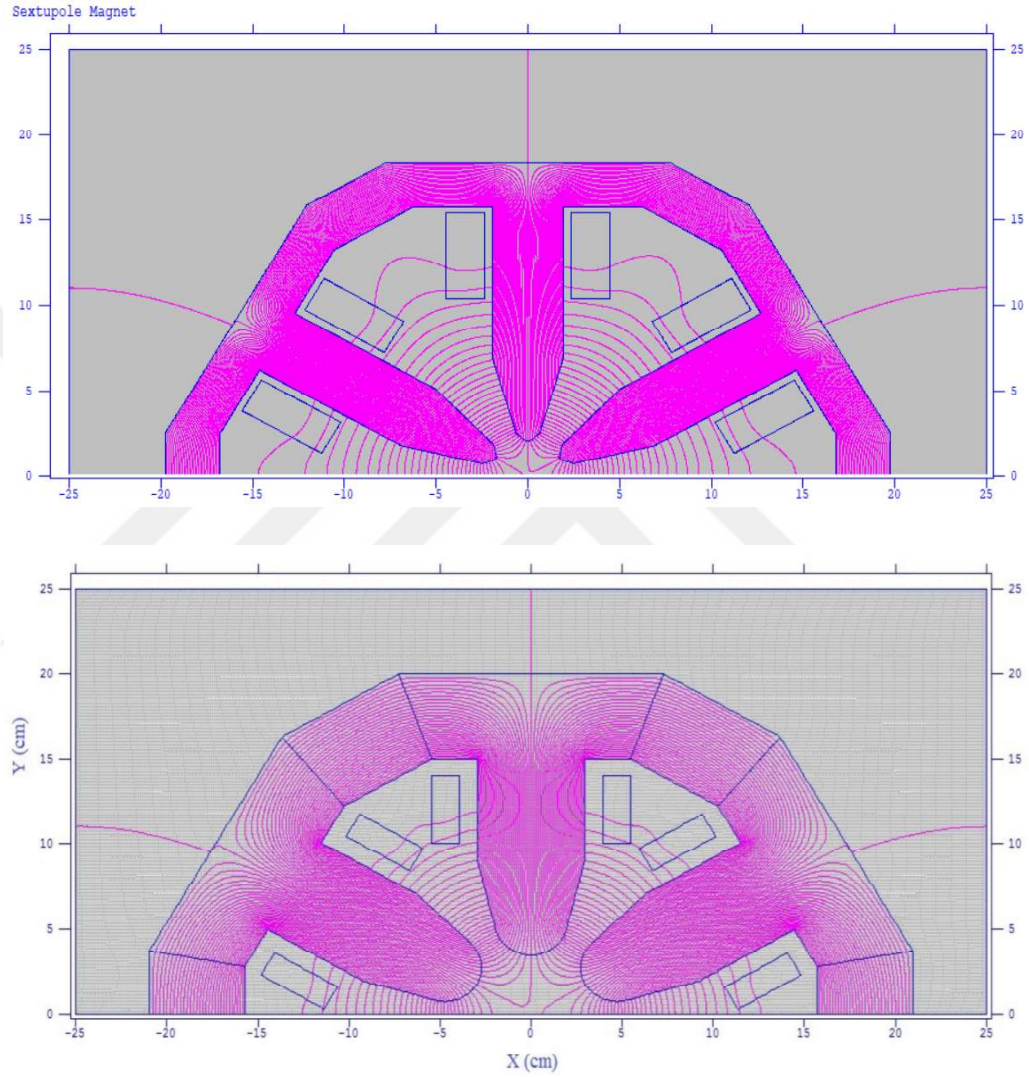
DATA → ‘Select X and Y’ seçilerek istenilen değere göre grafik tekrar çizilir. Bunun için açılan ekranda yalnızca By seçilir ve OK düğmesine basılır. Bu ekran sayesinde x-By grafiği Şekil 4.77’de görüldüğü gibi elde edilir.



Şekil 4.77. Altı kutuplu mıknatısın manyetik alanının By bileşenini konuma (X) bağlı grafiği

Bu grafik incelendiğinde altı kutuplu mıknatısın demire girdiği noktalar Superfish ile yapılan tasarım noktalarıyla uyumludur ve programın kendi içinde uyumlu olduğu bir kez daha anlaşılmıştır. 0 (sıfır) noktası dikkate alındığında tasarımın simetrik olduğu manyetik alan dağılımından da anlaşılmaktadır. Manyetik alan dağılımı merkezde sıfırdır. Demetin x eksenı boyunca manyetik alan dağılımının y bileşeni odaklayıcıdır. Bu tasarım ile dört kutuplu mıknatısın kromatik etkilerini düzelten odaklayıcı bir altı kutuplu tasarımı mümkündür.

Karşılaştırma için birbirine yakın geometrik ölçüler seçilmiştir: Altı kutuplu mıknatıs tasarımının +y ekseninde bulunan yarısı üzerindeki manyetik alan dağılımı alınmıştır. Burada elde edilen sonuçlar, literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve manyetik alan dağılımlarının uyumlu olduğu görülmüştür (bakınız Şekil 4.78).



Şekil 4.78. Altı kutuplu mıknatıs referans tasarım için manyetik alan dağılımı; bu çalışmada elde edilen sonuç (üstte), literatürde yapılan bir çalışmada (Nergiz, 2017) elde edilen sonuç (altta)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, düşük enerjili demet aktarım hattında kullanılan sarmal ve dört kutuplu mıknatısların tasarımı için Poisson/Superfish programına girdi kodları hazırlayan SMQMDesigner arayüzü geliştirilmiştir. Bu tasarımlara ek olarak hızlandırıcılarda kullanılan altı kutuplu magnet (mıknatıs) tasarımı da yapılmıştır. Burada bahsedilen tasarımların manyetik alan hesapları yapılmıştır.

Yapılan geometrik tasarımlar için CATIA çizim programı kullanılarak 3B şekilleri elde edilmiştir. Mıknatıs tasarımlarının bu verileri üretim aşamasında kullanılabilir.

Sarmal mıknatıs tasarımında, manyetik alan dağılımının yüksek olması istenen bölgeye göre tasarım geliştirilmiştir. Elde edilen tasarım literatürle karşılaştırılmış ve manyetik alanın boyuna ve radyal bileşenlerinin birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Dört kutuplu mıknatıs tasarımında, hem normal hem de döndürülmüş dört kutuplu mıknatıs tasarımı yapılmıştır. Aralarında 45° bulunan bu tasarımların manyetik alan dağılımları incelenmiş ve merkezde (parçacık demetinin geçtiği bölgede) manyetik alan dağılımının sıfır, diğer bölgelerde ise simetrik olduğu görülmüştür. Dört kutuplu mıknatıs tasarımı literatürle karşılaştırılmış ve manyetik alan gradiyentinin uyumlu olduğu görülmüştür.

Altı kutuplu mıknatıs tasarımı durumunda manyetik alanın bileşenleri incelenmiştir ve dört kutuplu mıknatısın kromatik etkilerini düzelten bir altı kutuplu mıknatıs tasarımı mümkündür. Altı kutuplu mıknatıs tasarımı için literatür ile karşılaştırılması yapılmış ve benzer ölçülerde aynı manyetik alan dağılımını verdiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında; sarmal, dört ve altı kutuplu mıknatısların tasarımları geometrik özellikleri ve malzeme bilgileri hakkında bilgi verilmiştir. Bir endüstri standardı olan Poisson / Superfish paketi için girdi dosyaları üretilmiş ve elde edilen tasarımların manyetik alan grafiklerinin karşılaştırması yapılmıştır ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Abdelwahab, S. A. et al., (2003). Conceptual Design Report for the Upgrading of SASEME to 2.5GeV. Chapter 6: Magnets.
- Cockcroft, J.D. and Walton E.T.S., (1932). Disintegration of Lithium by Swift Protons. *Nature* 129 649.
- Committee on Elementary-Particle Physics Board on Physics and Astronomy Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications National Research Council. (1998). Elementary-Particle Physics Revealing the Secrets of Energy and Matter. National Academy Press. Washington, D.C.
- Cakır, O., Celebi E., Cetinkaya H., Kolenoglu H., Turemen G., Uysal Z., Unel G., (2020). A Graphical User Interface to Design Solenoid and Quadrupole Magnets with Demirci-Pro, *Book Of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 36th International Physics Congress*. Vol.02, No.04, page 57-63. Turkey.
- Devred, A. (2001). Magnet Systems For Large Particle Accelerators. DAPNIA. Saclay. page 13-15.
- Einfeld, D., Specifications, (2011). Quality Control, Manufacturing and Testing Of Accelerator Magnets. CELLS-ALBA. Barcelona, Spain.
- Elementary-Particle Physics: Revealing the Secrets of Energy and Matter. (1998). Chapter: 4 The Past 25 Years: Establishing the Standard Model.
- Hock, K., (2010). Sextupole Magnet Cockcroft, Institute. Liverpool University.
- Jolly, S., (2003). An Intra-pulse Fast Feedback System for a Future Linear Collider. Chapter 2: The Physics of Linear Colliders. Trinity Term. Exeter College. Oxford.
- Halbach, K. and Holsinger R. F., (1976). "SUPERFISH - A Computer Program for Evaluation of RF Cavities with Cylindrical Symmetry". *Particle Accelerators* 7 213-222.
- Kolenoglu, H., Cakir O., Unel G., Turemen G., Celebi E. and Uysal Z., (2019). Magnet Design For Low Energy Beam Transfer With Demirci-Pro and Poisson/Superfish Interface. *Turkish Physical Society 7th Internationally Participated Congress on Particle Accelerators and Applications*, Book of Abstracts. page 23, Bodrum, Turkey.
- Liao, S., Dourmashkin, P. and Belcher, J.W. Course notes used in Physics 8.02 Electricity and Magnetism at MIT. Module 9. Sources of Magnetic Fields.
- Menzel, M.T. and Stokes H.K., (1987). "User's Guide for the POISSON /SUPERFISH Group of Codes", LA-UR-87-115, Los Alamos.

Muniz, S., Bhattacharya M., Bagnato V.S., (2012). Simple Analysis Of Off-Axis Solenoid Fields Using The Scalar Magnetostatic Potential: Application To A Zeeman-Slower For Cold Atoms. 1003.3720v2.

Nergiz, Z. (2017). Magnet design for the storage ring of TURKAY. *Turkish Journal of Physics*.

Pinson, J. (2020). The Power of Attraction: Magnets in Particle Accelerators.

Saeidi, F., Razazian M., Rahighi J., and Pourimani R., (2016). Magnet design for an ultralow emittance storage ring. *Physical Review Accelerators and Beams* 19, 032401.

Schnick, J.W. (2020). Calculus-based physics -CC BY-NC-SA 3.0- B36.1-B36.4.

¹<https://physics.info/standard/> (Eriřim Tarihi: 8.9.2020)

²<http://www.accelerators-for-society.org/about-accelerators/index.php?id=21#linac.2020> (Eriřim Tarihi: 16.9.2019)

³<https://tr.wikipedia.org/wiki/Siklotron.2020> (Eriřim Tarihi: 2.10.2019)

⁴<https://www.newswise.com/articles/fermilab-presents-march-magnets?seeOriginal=fermilab-presents-march-magnets>
(Eriřim Tarihi: 27.04.2020)

⁵<http://cds.cern.ch/record/930268> (Eriřim Tarihi: 23.8.2019)

⁶<https://www.triumf.ca/experimental-result/baartman-scores-touchdown-magnet-design>
(Eriřim Tarihi: 9.11.2019)

⁷https://www.wikiwand.com/en/strong_focusing (Eriřim Tarihi: 7.8.2019)

⁸http://www.krtech.co.kr/eng/bbs/board.php?bo_table=gallery_eng&wr_id=27
(Eriřim Tarihi: 30.8.2019)

⁹<https://phys.libretexts.org/> (Eriřim Tarihi:12.12.2019)

¹⁰<https://web.mit.edu/8.02t/www/802teal3d/visualizations/coursenotes/>
(Eriřim tarihi: 3.11.2019)

¹¹http://hep.ph.liv.ac.uk/~hock/Damping_Ring/sextupole.pdf (Eriřim tarihi: 8.11.2019)



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-7789-5274

Ad Soyadı : Hilal KOLENOĞLU

Yabancı Dil : İngilizce

Doğum Yeri ve Yılı

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2018-2021 Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü, Yüksek Enerji Ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı (Yüksek Lisans)
- 2011-2017 Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü (Lisans)
- 2009-2011 Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü (Lisans-2. sınıf)

Yayınları Ve/Veya Bilimsel Faaliyetleri:

- **Kolenoğlu H.**, Çakir O., Ünel G., Türemen G., Çelebi E. ve Uysal Z. (2020). Demirci-Pro: RFQ, İyon Kaynağı, LEPT ve Mıknatıs Tasarımı için Modüler Yazılım Çerçevesi. Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayı, Bildiri Özetleri Kitapçığı sayfa 8.
- Cakir O., Celebi E., Cetinkaya H., **Kolenoglu H.**, Türemen G., Uysal Z., Unel G. (2020). A Graphical User Interface to Design Solenoid and Quadrupole Magnets with Demirci-Pro. Book Of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 36th International Physics Congress, Vol.02, No.04, page.57-63.
- **Kolenoglu H.**, Cakir O., Unel G., Turemen G., Celebi E. ve Uysal Z. (2019). Magnet Design For Low Energy Beam Transfer With Demirci-Pro and Poisson/Superfish Interface. Turkish Physical Society 7th Internationally Participated Congress on Particle Accelerators and Applications, Book of Abstracts, page 23.
- Cakir O., Celebi E., Cetinkaya H., **Kolenoglu H.**, Turemen G., Uysal Z., Unel G. (2019). Demirci-Pro: A Single Software Interface for RFQ, Ion Source and LEPT Line Design. Turkish Physical Society 35th International Physics Congress, TPS35 Book of Abstracts, Vol.01, No.06, page 365-368.
- 2018, Bilim Festivali, Bilim Festivali: Bilim Yolculuğu Projesi, TÜBİTAK 4007 etkinliği, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- 2018, Bilim Festivali, Altındağ Bilim Festivali: Bilimin Aydınlightında Ulucanlar Projesi TÜBİTAK 4007 etkinliği, Ulucanlar Cezaevi, Ankara.