

2807

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DOĞRUSAL OLMAYAN ÖZELLİĞİ HESABA KATARAK

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE

GİRDAP AKIMI KAYIPLARININ HESABI

Elk.Müh.İsmail Hakkı ALTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Elektrik Yüksek Mühendisi"

Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Şubat 1988

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 23 Şubat 1988

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Güven ÖNBİLGİN

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Oğuz SOYSAL

Enstitü Müdürü : Prof.Dr.Doğan TURHAN

Şubat - 1988

TRABZON

Y. G.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

ÖNSÖZ

Son yıllarda elektrik ve magnetik alan problemlerinin çözümünde sonlu elemanlar yöntemi oldukça sık kullanılan bir sayısal çözümleme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik ve magnetik alan problemlerine olduğu kadar ısı ve akışkanlarla ilgili problemlere de uygulanabilir olması, bu yöntemin önemini daha da artırmıştır. Magnetik alan etkisindeki demir çekirdeklerde B-H karakteristiğinin doğrusal olmayan özelliği, bu çekirdeklerle ilgili alan problemlerini güçleştirir. Ancak sonlu elemanlar gibi yöntemlerle bu problemleri sayısal olarak çözmek mümkündür. Hele üretimden önce bir çekirdekteki kayıpların hesabı ise, ölçme yolu kapalı olduğundan, oldukça karmaşıktır. Ancak tasarlanan çekirdek boyutları, kullanılan magnetik malzemenin elektriksel özellikleri ve diğer devre parametreleri belli ise kayıplar üretim öncesinden sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasıyla sayısal olarak hesaplanabilir.

Gerek kayıpların önceden hesaplanması, gerekse sonlu elemanlar yöntemi gibi güncel bir konu üzerinde çalışmam için beni teşvik eden ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Doç. Dr. Sefa AKPINAR'a teşekkür etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
KULLANILAN SEMBOLLER.....	v
ÖZET.....	vii
SUMMARY.....	viii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. DEMİR ÇEKİRDEKTEKİ GİRDAP AKIMI VE KAYIPLARININ ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ...	5
2.1. Giriş	5
2.2. Alan Denklemleri.....	6
2.3. Demir Kayıpları.....	9
2.4. Girdap Akımları.....	10
2.5. Sonlu Elemanlara Ayrıştırılacak Olan Çalışma Bölgesinin Belirlenmesi.....	13
2.6. Sınır Koşulları.....	15
BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ.....	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Ağırlıklı Residüal Yöntemleri.....	20
3.3. Galerkin Yöntemi.....	23
3.4. Şekil Fonksiyonları.....	23
3.4.1. Bir Boyutlu Sonlu Eleman.....	24
3.4.2. İki Boyutlu Sonlu Eleman.....	26
BÖLÜM 4. GİRDAP AKIMI KAYIPLARININ SONLU ELEMANLAR GALERKİN YÖNTEMİYLE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ.....	33
4.1. Giriş	33
4.2. Galerkin Formülasyonu.....	33
4.3. Denklemlerin Zamana Göre İntegrasyonu...	39

4.4. Girdap Akımı Kayıplarının Sayısal Olarak Elde Edilmesi.....	41
BÖLÜM 5. B-H KARAKTERİSTİĞİNİN MATEMATİKSEL MODELİ..	42
5.1. Giriş.....	42
5.2. B-H Karakteristiğinin Exponansiyel Serilerle Temsili.....	43
5.2.1. Katsayıların Belirlenmesi.....	43
5.2.2. Orjin Yakınındaki Bölgenin Temsili.....	46
BÖLÜM 6. SONLU ELEMAN MATRİSLERİNİN BİLGİSAYARLA ELDE EDİLİP ÇÖZÜLMESİ.....	48
6.1. Giriş.....	48
6.2. Katsayı Matrislerinin Elde Edilmesi.....	49
6.3. Denklem Sisteminin Çözümü.....	52
BÖLÜM 7. PROGRAM PAKETİNİN ÖZELLİKLERİ.....	54
7.1. Giriş.....	54
7.2. Anaprogram.....	54
7.3. Altprogramlar.....	56
BÖLÜM 8. SONUÇLAR.....	58
8.1. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	58
8.2. İleride Yapılabilecek Çalışmalar.....	62
8.3. Programın Sonuç Listesi.....	64
KAYNAKLAR.....	96
EK A. VARYASYONEL HESAP.....	100
A.1. Fonksiyonelin Minimizasyonu.....	104
EK B. DİĞER AĞIRLIKLIL RESİDÜAL YÖNTEMLERİ.....	109
B.1. Yerel Nokta Yöntemi.....	109
B.2. İç Bölge Yöntemi.....	110
B.3. En Küçük Kareler Yöntemi.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	112

KULLANILAN SEMBOLLER

e	: Çekirdekte endüklenen gerilimin ani değeri
i	: akımın ani değeri
R	: direnç
ψ	: Akının ani değeri
ϕ	: Akının efektif değeri
t	: zaman
f	: Frekans
ω	: $2\pi f$
$\vec{E}$	: Elektrik alan şiddeti
$\vec{B}$	: Magnetik indüksiyon
$\vec{D}$	: Deplasman akımı
$\vec{H}$	: Magnetik alan şiddeti
$\vec{J}$	: Akım yoğunluğu
σ	: Özgül iletkenlik
μ	: Magnetik geçirgenlik
$\vec{S}_p$	: Poynting vektörü
P	: Toplam demir kayıpları
P_g	: Girdap akımı kayıpları
P_h	: Histeresiz kayıpları
T	: Periyot
S_1	: 1. sınır
S_2	: 2. sınır
l_o	: Çekirdek uzunluğu
A	: Çekirdek kesiti
N	: Sarım sayısı
v	: uygulanan gerilimin ani değeri
i_m	: mıknatıslanma akımı

L	: Sargı kaçak endüktansı
M	: Ortak endüktans
W_j	: Ağırlık fonksiyonu ($j = 1, \dots, 3$)
$A(H)$	: Fonksiyonun çözüm bölgesindeki residüali
$C(H)$	: S_1 sınır koşulunun residüali
$D(H)$	: S_2 sınır koşulunun residüali
$N_i(x,y)$	: Şekil fonksiyonu ($i = 1, \dots, 3$)
A^n, B^n, C^n	: n inci elemana ilişkin deneme fonksiyonu katsayıları
Δ	: Üçgen eleman alanı
S_{ij}^n	: $[S]$ matrisinin n . elemana ilişkin (i,j) matris elemanı
K_{ij}^n	: $[K]$ matrisinin n . elemana ilişkin (i,j) matris elemanı
$\dot{H}$	: Magnetik alanın zamana göre türevi
J_x	: Akım yoğunluğunun x bileşeni
J_y	: Akım yoğunluğunun y bileşeni

ÖZET

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, girdap akımı kayıpları incelenmektedir. İnceleme yapılırken magnetik alan içerisinde bulunan demir çekirdeğin doğrusal olmayan özelliği de hesaba katılmıştır. İncelemeye başlarken magnetik alanla ilgili temel denklemler verilmiş ve malzeme içerisinde yayılan magnetik alanı malzeme boyutlarına bağlı olarak veren genel çözüm denklemi elde edilmiştir. Daha sonra sınır koşulları incelenerek, çözümde uygulanacak sayısal yöntemin açıklamasına geçilmiştir. Genel çözüm denkleminin sayısal olarak çözülmesi için Galerkin yöntemine dayalı sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve bu yöntem metin içerisinde açıklanırken diğer sonlu eleman yöntemleri ile ilgili bilgiler ek olarak verilmiştir. Kullanılan sonlu eleman yöntemi açıklanırken elde edilen doğrusal olmayan denklemin formülasyonu Galerkin yaklaşımı ile yapılmıştır. Malzemenin doğrusal olmayan özelliğinin hesaba katılmasında ise malzemeye ait olan ve deneysel olarak elde edilmiş bulunan mıknatıslanma eğrisinden yararlanılmıştır. Metin içerisinde elde edilişleri açıklanan sonlu eleman denklemlerinin çözümleri kullanılan bir Fortran IV programı ile yapılmış ve sonuçlar ayrıca verilmiştir.

SUMMARY

In this thesis, the eddy current losses are calculated by taking into consideration the nonlinearity using finite element method (FEM) based on Galerkin approach. Any change of the magnetic flux induces secondary currents circulating in eddies in a solid iron core with a substantial cross sectional area. Such eddy currents affect transient phenomena in the same way as a current circulating in a secondary winding do.

In the calculation of eddy current losses the finite element method is applied to the following equation which could be derived from Maxwell equations

$$\nabla^2 H = \sigma \cdot \mu(H) \cdot \frac{\partial H}{\partial t}$$

This equation is transformed into the following matrix equation using Galerkin approach of the weighted residual.

$$[S1][H] = [F]$$

Matrix $[H]$ is calculated by solving this system of linear equation. Then, Eddy currents are calculated the following equation

$$\vec{J} = \text{rot } \vec{H}$$

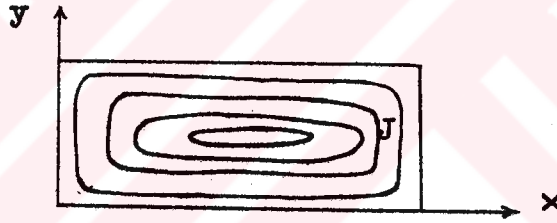
and eddy current losses are obtained by the Poynting theorem as,

$$P_e = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \int_R \frac{1}{\sigma} J^2 \, dx \, dy \, dt$$

A computer program is developed for calculation of eddy current losses with the method described above. The obtained results and their comparison with the results of former studies are presented.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Değişken magnetik alan içinde bulunan maddelerde indüksiyon kanununa göre akımlar meydana gelir. Bu durum, magnetik alan etkisindeki çekirdeklerde akının değişmesiyle, akı etrafındaki girdaplarda yayılan ikincil akımların oluşması şeklinde görülür. İletken cisim içinde akımın izleyeceği yol, bir telde olduğu gibi belirli olmadığından, akım en küçük direnci gösteren yollar üzerinden devresini tamamlar. Böyle akımların izledikleri yollar şekil olarak girdaba benzedikleri için (Şekil:1.1) bu akımlar "Girdap Akımları" olarak isimlendirilirler.



Şekil 1.1. Girdap akımları

Girdap akımlarının oluştuğu demir çekirdek, iletken tel ve benzeri kapalı devrelerin direnci R ise bu kapalı devreden, yani malzeme içinden

$$i = e/R \quad (1.1)$$

akımı akar. Akı sinüs biçiminde değişiyorsa Faraday'ın indüksiyon kanununa göre yazılabilen

$$\begin{aligned} \psi &= \phi \cdot \sin \omega t \\ e &= - \frac{d\psi}{dt} = -\omega \phi \cdot \cos \omega t \end{aligned} \quad (1.2)$$

ifadesinden yararlanılarak, (1.1) deki akım

$$i = -\omega \cdot \Phi \cdot \cos \omega t / R \quad (1.3)$$

olarak yazılabilir. Bu akım malzeme içerisinde Joule olayı nedeniyle

$$P = i^2 R = (\omega^2 \Phi^2 / R) \cos^2 \omega t \quad (1.4)$$

şeklinde güç kayıpları meydana getirerek ısı enerjisine dönüşüp malzemeyi ısıtır ve etrafa yayılarak kayıp olur. Bu kayıplar, demir kayıplarının "Girdap Akımı Kayıpları" adını alan kısmıdır. Demir kayıplarının diğer bir kısmında "Histeresiz Kayıpları" meydana getirmektedir.

(1.4) ifadesi incelendiğinde girdap akımı kayıplarının frekansın karesiyle ve malzeme direnciyle değiştiği görülür. Buradan, malzeme direncinin büyük olması halinde güç kayıplarının az olacağı anlaşılır. Dolayısıyla malzeme direncini, yani akımın izleyeceği yolun direncini artırmak için bazı işlemlere başvurulur. Bunlardan en önemlilerinden birisi de çekirdek olarak kullanılacak olan demirin bir kütle gibi tek parça halinde değil, araları yalıtılan levhalara bölünerek kullanılmasıdır. Bu işlem sonucu girdap akımlarının neden olduğu kayıplar azaltılmış olur. Ayrıca kullanılan malzemedeki Silisyum oranı da güç kaybını etkiler. Örneğin Stanbury(1985) referans olarak verilen makalesinde elektrik makinalarında kullanılan demir çekirdeklerdeki Silisyum oranının %3 olması halinde güç kayıplarının düşük olacağını belirtmektedir.

Girdap akımları zararlı olduğu gibi istenildiğinde yararlı hale getirilebilir. Ancak girdap akımlarının zarar yada yararlarını tartışmak konu dışında olduğundan üzerinde durulmayacaktır. Tez çalışmasının asıl amacı Galerkin yöntemine dayalı sonlu elemanları kullanarak girdap akımı kayıplarını hesaplamak olduğundan, yalnızca girdap akımı kayıplarının analitik olarak incelenmesinden ve sonlu elemanlar Galerkin yönteminin kullanıldığı çözümden bahsedilecektir.

Elektrik makinalarının verimli çalışacak şekilde tasarlanabilmeleri için kullanılacak demir çekirdekte meydana gelen kayıpların imalat öncesinden bilinmesi büyük bir avantaj sağlar. Bu nedenle şimdiye kadar demir kayıplarının hesabı için birçok analitik ve sayısal çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. McConnell(1953), Swift(1971), Zakrzewski(1971), Stoll (1974) ve Jufer(1976) in makalalarında olduğu gibi önceleri sayısal çözüm yöntemi olarak sonlu fark denklemlerinin kullanılmasına rağmen, son yıllarda, özellikle yetmişli yılların başından buyana sonlu elemanlar yöntemi literatürlerde oldukça geniş yer tutmaya başlamıştır. Sonlu elemanlar yönteminin yeraldığı literatürlere örnek olarak Burais(1982), Chari ve diğ.(1982), Vecchio(1982), Brauer(1982), Kamar(1983), Levers (1983), Weiss ve diğ.(1983), Ikeuchi ve diğ.(1983) ile Garg ve diğ.(1986) in makaleleri gösterilebilir. Ancak bunlar söz konusu literatürlerin çok az bir kısmıdır.

Uzunluğu genişlik ve kalınlığına göre çok büyük olan düzlemsel bir levhadaki girdap akımı kayıplarının hesaplanacağı bu çalışmada da hesap yöntemi olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış, yaklaşım olarak ise Galerkin yaklaşımı alınmıştır. Bu nedenle diğer yöntemlerden Varyasyonel ve ağırlıklı residuallere ait diğer yaklaşımlara kısaca değinilecek, ancak üzerlerinde fazla durulmayacaktır.

Galerkin yaklaşımının kullanıldığı sonlu elemanlar yönteminin seçilme nedeni, bu yöntemin non-linear(doğrusal olmayan) problemlere uygulanabilme özelliğine sahip olmasıdır. İntegral sonlu eleman denklemlerinin elde edilebilmesi için, alan denklemlerinin matematiksel formülasyonunda alışlagelmiş bir yaklaşım olan kesin varyasyonel prensipler kullanılabilir. Ancak varyasyonel biçime sahip olmayan kısmi diferansiyel denklemler için basit integral denklemlerinin geliştirilmesinde Galerkin yöntemi kullanılır(Aral,1974,s.49)

Sürekli durum Alan problemlerinde varyasyonel form elde edilir ve bu problemlerde varyasyonel yöntem kullanılışlıdır. Aral(1974) ın açıklamalarına göre, kararsız alan problemleri gibi varyasyonel formları bulunmayan problemlerde ya sınırlı varyasyonel formlar yada ağırlıklı residüaller vasıtasıyla sonlu elemanlar metodu kullanılır. Varyasyonel forma sahip olmayan yada varyasyonel formda ifade edilemeyen alan problemlerin çözümünde kullanılabilmesi, ağırlıklı residüallerin özel bir durumu olan Galerkin yönteminin uygulanma alanlarının çoğalmasına ve tercih edilmesine neden olmaktadır. Doğrusal olmayan özelliğe sahip kısmi diferansiyel denklem çözümünde daha kesin sonuç verdiğiinden, burada da Galerkin yöntemine dayalı sonlu elemanlar yöntemi kullanılacaktır. Galerkin ve varyasyonel yöntemlerin tercih edildikleri durumlar, Aral(1974) ve Zienkiewich(1977) tarafından ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır.

BÖLÜM 2. DEMİR ÇEKİRDEKTEKİ GİRDAP AKIMI VE KAYIPLARININ ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

2.1. Giriş

Elektrik makinalarının verimli çalışacak şekilde tasarlanıp üretilmeleri için, kayıpların üretim öncesinden bilinmesi ihtiyacı, araştırmacıları bu konuda çalışmaya iterken, magnetik malzeme üreten firmaların da Boll(1979) örneğinde olduğu gibi, ürettikleri malzemelerin magnetik alan etkisinde bulunmaları halinde meydana gelecek kayıpları önceden belirlemelerine neden olmaktadır. Kayıpların üretim öncesinden bilinmesine duyulan ihtiyaç sonucu Stoll(1974) un kitabındaki gibi teorik hesap yöntemlerinin yanısıra Boll(1979) un ve Swift(1971) in yayınlarındaki gibi pratik hesap ve ölçme yöntemleri de geliştirilmiştir.

Teorik hesap yöntemleri analitik olabileceği gibi sayısalda olabilir. Günümüzde geliştirilmiş olan sayısal çözüm yöntemleri ile analitik çözüme çok yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Sonlu elemanlar Galerkin yönteminin uygulandığı problemlerde de gerçek çözüme çok yakın değerlerin elde edilmesi (Zienkiewich,1977,s.53) bu yöntemin son yıllarda çok sık uygulanmasına neden olmaktadır. Galerkin yönteminin seçilmesinin bir diğer nedeni, daha önce de belirtildiği gibi, doğrusal olmayan problemlere uygulanmaya yatkınlığıdır.

2.2. Alan Denklemleri

Değişken magnetik alan içinde bulunan demir çekirdeklerde meydana gelen kayıplar genellikle kararlı değildirler ve genlikleri zamanla değişir. Magnetik malzemelerdeki doğrusal olmayan özellik histeresiz olaylara neden olduğu için bu malzemelerle ilgili alan problemlerini güçleştirir. Dolayısıyla magnetik alanlar ve bu alanların neden oldukları akım problemleri diferansiyel yada integral denklemler ile ifade edilirler.

Bir elektromagnetik alan başlıca dört vektörle ifade edilir. Bunlar, $\vec{E}$, $\vec{B}$, $\vec{D}$ ve $\vec{H}$ vektörleri olup,

$\vec{E}$: Elektrik alan şiddeti

$\vec{B}$: Magnetik indüksiyon

$\vec{D}$: Deplasman akımı

$\vec{H}$: Magnetik alan şiddeti

şeklinde isimlendirilirler. Bunların dışında,

$\vec{J}$: Akım yoğunluğu

σ : Özgül iletkenlik

μ : Magnetik geçirgenlik

vektör ve terimleri de magnetik alanla ilgili denklemlerde bulunan diğer büyüklüklerdir. Yukarıda verilen vektörler arasındaki ilişkiler Maxwell denklemleri ile açıklanırlar. Stratton(1941), Plonsey ve diğ.(1961), Chari ve diğ.(1980), Silvester ve diğ.(1983) ve daha birçok yazar bu denklemleri aşağıdaki gibi ifade etmişlerdir.

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = - \frac{d\vec{B}}{dH} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$\text{div } \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

Deplasman akımı $\vec{D}$, iletken ortamlarda önemsiz olduğundan, Stoll(1974), Burais ve diğ.(1982), ihmal edilebilir. Bu nedenle (2.2) bağıntısını

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} \quad (2.4)$$

olarak yazmak yeterlidir. Bunların dışında magnetik akı yoğunluğu $\vec{B}$ ile magnetik alan şiddeti $\vec{H}$ arasındaki ilişki

$$\vec{B} = \mu(H) \cdot \vec{H} \quad (2.5)$$

yazılabilir. Ayrıca Ohm yasasından yararlanılarak elektrik alan şiddeti $\vec{E}$ ile akım yoğunluğu $\vec{J}$ arasında σ iletkenliği-ne bağlı olarak

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (2.6)$$

şeklinde bir ifade elde edilebilir. Yukarıdaki ilk üç (2.1), (2.2) ve (2.3) denklem, Maxwell denklemlerinin diferansiyel olarak yazılmış biçimleri olup, bunların integral biçimleri, Gauss ve Stokes teoremlerinin uygulanmasıyla türetilebilir.

Denklem (2.6), (2.4) de yerine konulup, her iki tarafın rotasyoneli alınır

$$\text{rot rot } \vec{H} = \text{rot } \sigma \vec{E} \quad (2.7)$$

denklemini elde edilir. Vektörel işlemlerden

$$\text{rot rot } \vec{H} = \text{grad div } \vec{H} - \nabla^2 \vec{H}$$

ve

$$\text{rot } \sigma \vec{E} = \sigma \text{rot } \vec{E} + (\text{grad } \sigma) \times \vec{E}$$

eşitlikleri yardımıyla (2.7) denklemini

$$\text{grad div } \vec{H} - \nabla^2 \vec{H} = \sigma \text{rot } \vec{E} + (\text{grad } \sigma) \times \vec{E} \quad (2.8)$$

olarak yazılabilir. Denklem (2.5), denklem (2.3) de yerine konursa

$$\text{div } \mu(H) \vec{H} = 0 \quad (2.9)$$

elde edilir. Burada $\mu(H)$ skaler, $\vec{H}$ vektörel büyüklük olduğundan, çarpım halindeki bir skaler ile vektörün diverjansını aşağıdaki gibi yazmak mümkündür, Karadeniz(1983).

$$\text{div } \mu(H) \vec{H} = \mu(H) \text{div } \vec{H} + \vec{H} \text{ grad } \mu(H) = 0 \quad (2.10)$$

Buradan da,

$$\text{div } \vec{H} = - \frac{1}{\mu(H)} \vec{H} \text{ grad } \mu(H) \quad (2.11)$$

elde edilir. Böylece (2.8) denklemi,

$$- \text{grad}(\vec{H} \frac{1}{\mu(H)} \text{ grad } \mu(H)) - \nabla^2 H = \sigma \text{rot } \vec{E} + (\text{grad } \sigma) \times \vec{E} \quad (2.12)$$

olur. Bu denklemin her iki tarafı (-1) ile çarpılıp, soldaki ilk terim sağ tarafa atılırsa, bu denklem,

$$\nabla^2 H = -\sigma \text{rot } \vec{E} - (\text{grad } \sigma) \times \vec{E} - \text{grad}(H \frac{1}{\mu(H)} \text{ grad } \mu(H)) \quad (2.13)$$

şeklini alır. (2.1) denkleminde,

$$\text{rot } \vec{E} = - \frac{dB}{dH} \frac{\partial H}{\partial t}$$

(2.6) ve (2.4) denklemlerinden

$$\vec{E} = \frac{1}{\sigma} \vec{J} = \frac{1}{\sigma} \text{rot } \vec{H}$$

alınarak (2.13) de yerine konursa,

$$\nabla^2 H = \sigma \frac{dB}{dH} \frac{\partial H}{\partial t} - (\text{grad } \sigma) \times \frac{1}{\sigma} \text{rot } \vec{H} - \text{grad}(H \frac{1}{\mu(H)} \text{ grad } \mu(H)) \quad (2.14)$$

olur. Malzemenin σ iletkenliği ile μ magnetik geçirgenliği- nin malzeme boyutlarına bağlı olmadığı ve bunların kartez- yen koordinatlardaki kısmi türevlerinin sıfır olacağı düşü- nülürse (2.14) denklemini aşağıdaki gibi ifade etmek mümkün olur.

$$\nabla^2 H = \sigma \frac{dB}{dH} \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.15)$$

bu denklemdeki dB/dH terimi, magnetik geçirgenliğin diferan- siyel tanımı olup, Boll(1979),

$$\frac{dB}{dH} = \mu(H) \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. Bu son (2.16) ifadesi (2.15) de yerine

yazılırsa,

$$\nabla^2 H = \sigma \mu(H) \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.17)$$

denklemini elde edilir.

2.3. Demir Kayıpları

Demir kayıpları bir noktadaki ani güç akışı yoğunluğu olan $\vec{S}_p$ Poynting vektörünün ifadesiyle hesaplanır, Burais ve diğ.(1982). Bu durumda toplam demir kayıpları için,

$$\vec{P} = - \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \int_S \vec{S}_p \cdot \vec{n} \, ds \, dt \quad (2.18)$$

veya

$$P = - \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \int_V \text{div} \vec{S}_p \, dv \, dt \quad (2.19)$$

yazılır. Poynting vektörü

$$\vec{S}_p = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.20)$$

olduğundan,

$$\text{div} \vec{S}_p = \text{div}(\vec{E} \times \vec{H})$$

$$\text{div} \vec{S}_p = \vec{H} \cdot \text{rot} \vec{E} - \vec{E} \cdot \text{rot} \vec{H} \quad (2.21)$$

elde edilir. Denklem (2.1), (2.4) ve (2.6) nin kullanılmasıyla,

$$\text{div} \vec{S}_p = -H \frac{dB}{dH} \frac{\partial H}{\partial t} - \frac{J^2}{\sigma} \quad (2.22)$$

olur. Bu ifade (2.19) da yerine konursa

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \int_V \left(\vec{H} \cdot \frac{dB}{dH} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{J^2}{\sigma} \right) dv \, dt$$

yazılır. Bu denklem de iki parçaya ayrıştırılarak,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \oint_V \vec{H} \cdot d\vec{B} \, dV + \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^T \frac{J^2}{\sigma} \, dV \, dt \quad (2.23)$$

şeklinde demir kayıplarına ilişkin denklem elde edilir. Bu denklemden görüleceği gibi demir kayıpları matematiksel olarak iki bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenler ayrı ayrı yazılırsa

$$P_g = \frac{1}{T} \int_0^T \int_0^T \frac{1}{\sigma} J^2 \, dV \, dt \quad (2.24)$$

$$P_h = \frac{1}{T} \int_0^T \oint_V \vec{H} \cdot d\vec{B} \, dV \quad (2.25)$$

olmak üzere (1.23) denklemi

$$P = P_g + P_h \quad (2.26)$$

şeklinde olur. Burada

P_g : Girdap akımı kayıplarını

P_h : Histeresiz kayıplarını göstermektedir.

2.4. Girdap Akımları

Doğrusal olmayan problemde (2.17) ile verilen doğrusal olmayan denklemin çözümü her zaman adımı için her noktadaki H magnetik alanını, J girdap akımını ve bu akımın sebep olduğu kayıpları verir.

Histeresiz kayıpları ise deri etkisi nedeniyle yaprak merkezine doğru azalan histeresiz çevrim yüzeyinin ifadesiyle hesaplanabilir, Zakrzewski(1971), Boll(1979), Burais ve diğ.(1982)

Doğrusal olmayan bir yapıya sahip olan (2.17) denkleminin zamana bağlı çözümü, her noktadaki magnetik alanı, girdap akımını ve dolayısıyla girdap akımı kayıplarını verdiği için

Burais ve diğ.(1982), bu denklemin çözümü yeterli olacaktır. Ancak konu yalnızca girdap akımı kayıplarının hesabını kapsadığından, histeresiz kayıplarla ilgilenilmeyecektir.

Denklem (2.17) nin çözülmesiyle bulunacak olan $\vec{H}$ magnetik alanına ilişkin değerler kullanılarak (2.4) ifadesiyle verilen

$$\vec{J} = \text{rot } \vec{H}$$

bağıntısı yardımıyla $\vec{J}$ akımları bulunur. Bu işlem yapılır-
sa

$$\vec{J} = \text{rot} \vec{H} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ H_x & H_y & H_z \end{vmatrix}$$

$$\vec{J} = \text{rot} \vec{H} = \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right) \hat{i} + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right) \hat{j} + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) \hat{k} \quad (2.27)$$

olarak elde edilir. Burada,

$$J_x = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}$$

$$J_y = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad (2.28)$$

$$J_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}$$

şeklinde alınırsa, $\vec{J}$ akımının ifadesi,

$$\vec{J} = J_x \hat{i} + J_y \hat{j} + J_z \hat{k} \quad (2.29)$$

olur. Bunun modülü ise

$$|\vec{J}| = \sqrt{J_x^2 + J_y^2 + J_z^2} \quad (2.30)$$

ile hesaplanabilir. Bu bağıntı ile hesaplanacak $J = |\vec{J}|$ akımları (2.24) bağıntısında kullanılarak, P_g girdap akımı kayıpları hesaplanır. Ancak integral biçiminde yazılmış olan (2.24) denklemi aşağıdaki gibi de kullanılabilir.

$$P_g = \frac{1}{T} \sum_T \sum_R \frac{1}{\sigma} J^2 \Delta x \Delta y \Delta t \quad (2.31)$$

Yukarıda (2.30) ifadesiyle verilen akım bağıntısı üç boyutlu problem içindir. Buradaki incelemede magnetik alan şiddeti $\vec{H}$, Şekil:2.2. de görüldüğü gibi yalnızca z eksen yönünde bir bileşene sahiptir. Yani $\vec{H}$ vektörü,

$$\vec{H} = (0, 0, H_z) = H_z \vec{k} \quad (2.32)$$

şeklindedir. Dolayısıyla (2.27) bağıntısında yalnızca H_z li terimler olacağından, bu bağıntı,

$$\vec{J} = \frac{\partial H_z}{\partial y} \vec{i} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \vec{j} \quad (2.33)$$

şeklını alır. Bu durumda burada incelenen problemde sözkonusu girdap akımı,

$$\vec{J} = J_x \vec{i} - J_y \vec{j} \quad (2.34)$$

olup, bunun modülü

$$|\vec{J}| = \sqrt{J_x^2 + J_y^2} \quad (2.35)$$

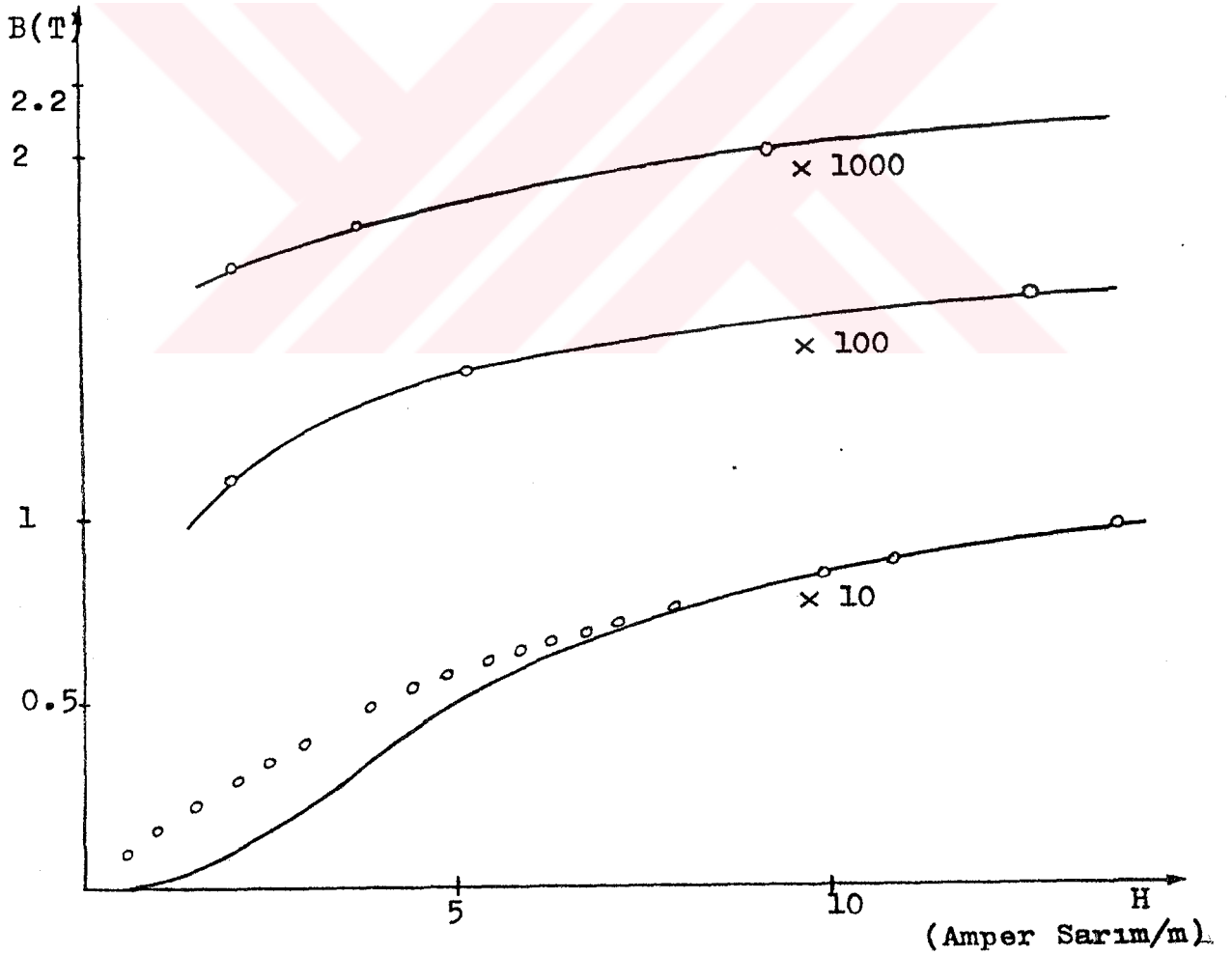
dir. $J = |\vec{J}|$ şeklinde gösterilirse (2.35) bağıntısından

$$J^2 = |\vec{J}|^2 = J_x^2 + J_y^2 \quad (2.36)$$

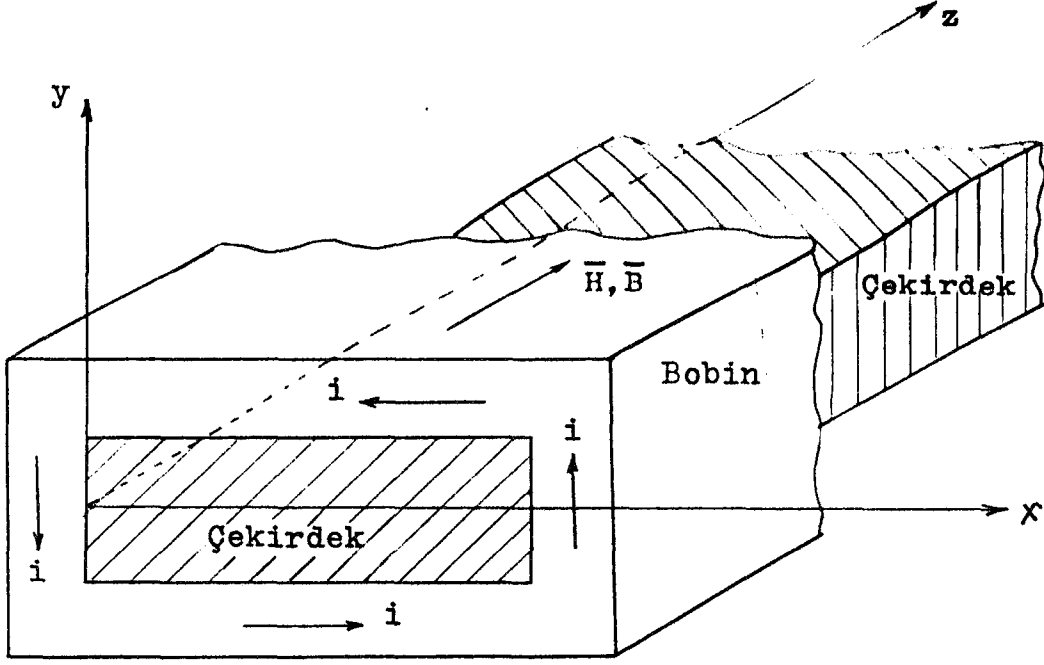
bulunarak (2.31) denkleminde kullanılırsa iki boyutlu problemle ilişkin girdap akımı kayıpları hesaplanır. J girdap akımı yoğunluğunun sayısal olarak elde edilişi Bölüm:4 de verilmiştir.

2.5. Sonlu Elemanlara Ayırıştırılacak Olan Çalışma Bölgesinin Belirlenmesi

Burada, B-H karakteristiği Şekil:2.1. deki gibi olan magnetik malzemeden imal edilmiş bir demir çekirdekte meydana gelen girdap akımı kayıpları incelenecektir. Üzerine bobin sarılı çekirdeğin Şekil:2.2. deki yapıya sahip olduğu, yani, boyunun eni ve kalınlığına göre oldukça uzun olduğu kabul edilmiştir. Şekil:2.1. de verilen mıknatıslanma eğrisine ait noktalar hesapla ve deneysel olarak Akpınar(1978) tarafından belirlenmiş olup, matematiksel olarak ifadesi Bölüm:5 de ayrıca ele alınmaktadır.

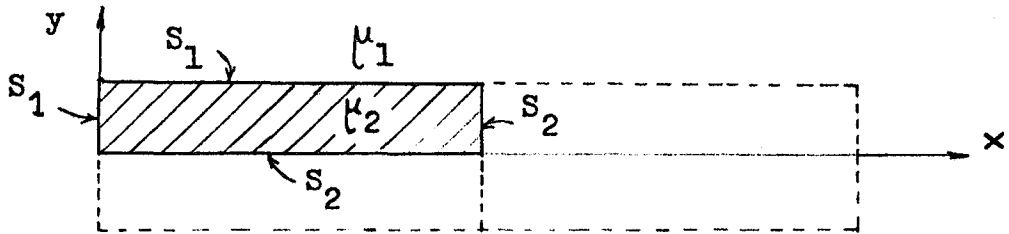


Şekil:2.1. Mıknatıslanma eğrisi
 o : Hesaplanan nokta
 — : Deneysel eğri



Şekil:2.2. Demir çekirdek ve bobin kesiti üzerindeki akım ve alan yönleri.

Şekil:2.2. deki gibi gösterilebilen demir çekirdeğe sarılı bobinden akan kaynak akımının yönüne göre magnetik alan şiddetinin yönü sağ el kuralı ile belirlenebilir. Buna göre akım x, y düzleminde akarsa magnetik alan şiddetinin yönü z eksenini yönünde olur. Çekirdeğin uzunluğu genişlik ve kalınlık yanında çok uzun alınırsa magnetik alan H ve akı yoğunluğu B yalnızca z eksenini yönünde değiştiği için, problem enine olarak $x-y$ düzleminde incelenebilir. Ayrıca simetrik olma özelliğinden yararlanılarak, problem bölgesi Şekil:2.3. deki gibi temsil edilebilir.



Şekil:2.3. Çekirdeğin çalışma bölgesi olarak kullanılacak kısmı

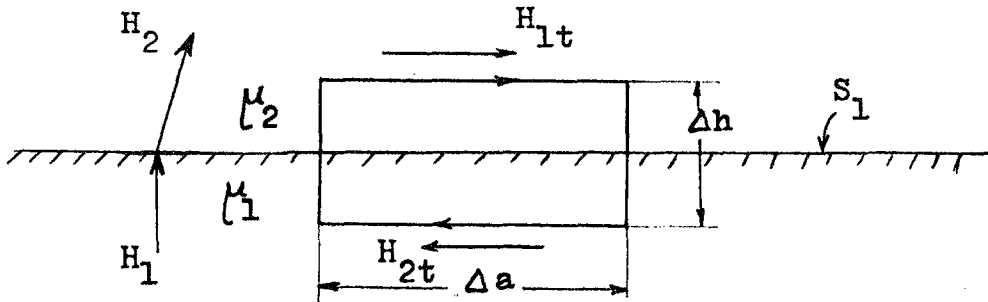
Problemin bu son temsili şekli incelenirse, çalışma bölgesini sınırlayan dört kenardan ikisinin çekirdeğin bobinle temas halindeki kenarları, ikisinin ise kesit kenarları olduğu görülür. Bu durum sınır koşullarına etki etmektedir. Ancak bütün bir yüzey yerine dörtte birlik bölümünün çalışma bölgesi olarak alınması ile gereksiz işlem kalabalığından kaçınılır.

2.6. Sınır Koşulları

Demir çekirdeğe sarılı bobine Şekil:2.2. deki yönde bir i akımı uygulanırsa meydana gelecek olan magnetik alan ve indüksiyon çizgi yönlerinin yine bu şekilde gösterilen yönde olduğu, sağ el kuralı ile belirlenebilir.

Şekil:2.3. den anlaşıldığı gibi burada iki tür sınır koşulu söz konusudur. Bunlar S_1 ve S_2 ile gösterilen sınır yüzeylere ilişkin koşullar olup, burada S_1 , demir çekirdeğin dış yüzey sınırını, S_2 ise çekirdeğin kesit yüzeyi sınırını temsil eder.

S_1 sınırında magnetik alan çizgileri μ_1 ortamından μ_2 ortamına geçerken kırılarak bir değişikliğe uğrarlar. Bu durum Şekil:2.4. ile daha iyi açıklanabilir.



Şekil:2.4. S_1 sınırında magnetik alan çizgilerinin değişmesi

Bu şekilde kenarları sınır yüzeye dik olan Δh yüksekliğinde bir çerçeve ele alınmıştır. Çerçevenin yan kenarlarındaki magnetik akı ihmal edilirse şekildeki yön için çerçeveye Amper kanunu uygulandığında

$$H_{1t} \Delta a - H_{2t} \Delta a = 0 \quad (2.37)$$

yazılabilir. Buradan

$$H_{1t} = H_{2t} \quad (2.38)$$

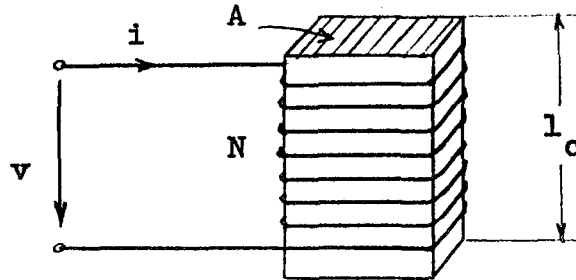
elde edilir. Yani sınır yüzeyin iki tarafındaki alan şiddetlerinin teğetsel bileşenleri birbirlerine eşittir. Dolayısıyla S_1 sınırında homojen olmayan Drichlet sınır koşulu geçerli olur, Burais ve diğ.(1982), Silvester ve diğ.(1983). Bu koşula göre S_1 sınırında

$$H = H_0 \quad (2.39)$$

homojen olmayan Drichlet sınır koşulu alınabilir. Burada,

$$H_0 = \frac{N \cdot i}{l_0} \quad (2.40)$$

olup, N sarım sayısını, l_0 çekirdeğin ortalama uzunluğunu, i ise mıknatıslanma akımını temsil etmektedir. Bunlardan N ile l_0 değerleri bilinen değerlerdir. Ancak mıknatıslanma akımı i nin değeri hesaplanmak zorundadır. Şekil:2.2. yeniden Şekil:2.5. deki gibi çizilirse, bu devrenin denklemi (2.41) deki gibi



Şekil:2.5. Üzerinde N sarımlı bir bobin bulunan demir çekirdek

$$v = R i + L \frac{di}{dt} + M \frac{di_m}{dt} \quad (2.41)$$

olarak yazılır. Bu denklemde

$$i_m = i \quad (2.42)$$

$$M = f(H) = \frac{A N^2}{l_0} \mu(H) \quad (2.43)$$

olarak alınıp, Akpınar(1978), yerlerine yazılırlarsa (2.41) denklemi yeniden

$$v = R i + L \frac{di}{dt} + \frac{A N^2}{l_0} \mu(H) \cdot \frac{di}{dt} \quad (2.44)$$

$$v = R i + \left(L + \frac{A N^2}{l_0} \mu(H) \right) \frac{di}{dt} \quad (2.45)$$

şeklinde elde edilir. Burada v sargıya uygulanan gerilim, R sargı direnci, L sargı kaçak endüktansı, A çekirdek kesiti, N sarım sayısı, l_0 çekirdek boyu, $\mu(H)$ ise bölüm 5 de açıklandığı gibi mıknatıslanma eğrisinden H magnetik alanına bağlı olarak elde edilen diferansiyel magnetik geçirgenliktir. (2.45) denklemi dört adımlı Runge-Kutta yöntemiyle sayısal olarak çözülüp i akımına ait değerler bulunabilir. Bulunacak i değerlerinin (2.40) ile verilen

$$H_0 = \frac{N i}{l_0}$$

bağıntısında kullanılması ile de S_1 sınırında geçerli olan H magnetik alan şiddetinin değeri bulunmuş olur.

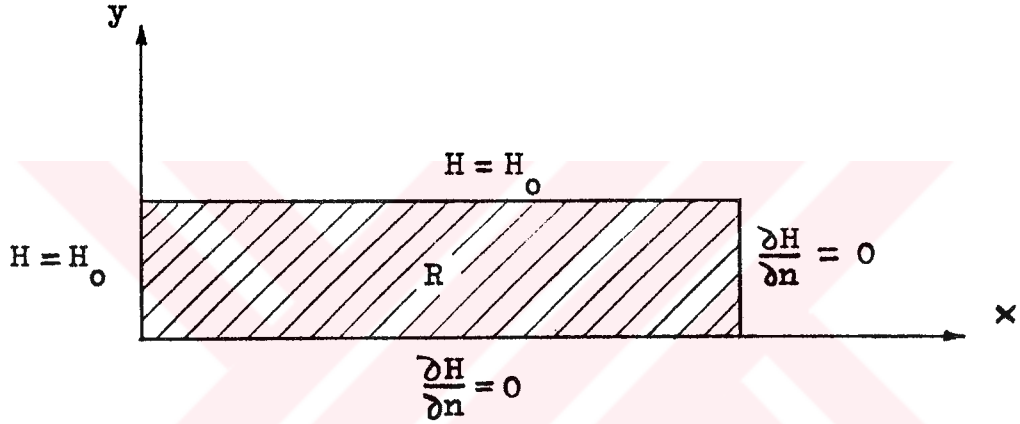
S_2 sınırına ilişkin koşulları belirlemek için, bütün demir yüzeyin S_2 tarafından iki alt bölgeye bölündüğü düşünce-sinden hareket edilir, Chari ve diğ.(1982). Ve bu iki bölgeye ait kapalı yüzey integrallerinin birbirlerine eşit oldukları kabul edilerek malzeme iç yüzeyinde geçerli olan doğal

iç, yani kesit yüzey sınır koşulu

$$\frac{\partial H}{\partial n} = 0 \quad (2.46)$$

olarak alınabilir, Chari ve diğ.(1980), Burais ve diğ.(1982), Silvester ve diğ.(1983). Bu koşul homojen Neuman sınır koşulu olup, S_2 sınırında geçerli olan koşuldur.

Belirlenen bu sınır koşullarına göre problemin çalışma bölgesine ilişkin sınır koşulları Şekil: 2.6. daki gibi gösterilebilir.



Şekil:2.6. Çalışma bölgesi ve sınır koşulları

BÖLÜM 3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

3.1. Giriş

Bir sayısal hesaplama türü olan sonlu elemanlar yöntemi (FEM: Finite Element Method) çalışma bölgesinin sonlu elemanlara bölünmesi nedeniyle bu ismi almaktadır. Söz konusu elemanlar değişik yapı ve geometriye sahip olabilirler.

Sonlu elemanlar yönteminin formülasyonu, temelde aşağıdaki işlemlerin yapılmasıyla elde edilir, Aral(1974 - 1976)

- a. Probleme ait diferansiyel denklem integral denklem haline dönüştürülür.
- b. Çözüm bölgesi sonlu elemanlara bölünür.
- c. Her eleman için çalışma bölgesinde tanımlanan integrellere ait yaklaşık çözüm matrisleri çıkarılır.
- d. Her eleman için elde edilen matrisler çözüm bölgesi için birleştirilir.
- e. Denklem takımları çözülür.

Problemi temsil eden kısmi diferansiyel denklemin integral denklem haline dönüştürülmesi işlemi, varyasyonel veya ağırlıklı residüallere ait hesap yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu tezin konusu sonlu elemanlar yöntemini incelemek değil, girdap akımı kayıplarının hesabında Galerkin yöntemine dayalı sonlu elemanlar yönteminden yararlanmaktır. Bu nedenle burada Galerkin yönteminin açıklanmasından önce, bu yöntemi özel bir durum olarak kapsayan ağırlıklı residüal yöntemlerinden bahsedilecek, sonrada problemin çözülmesi için Galerkin yöntemine dayalı sonlu elemanlar yöntemi açıklanacaktır. Ayrıca sonlu elemanlar yönteminin bir diğer yaklaşım türü olan varyasyonel hesap yaklaşımı Ek:A. da verilmiştir.

3.2. Ağırlıklı Residüal Yöntemleri

Klasik varyasyonel yöntem yalnızca uygun bir fonksiyonel bulunması halinde kullanılabilir, Davies(1980). Böyle bir fonksiyonun olmadığı yada bulunamadığı durumlarda başka sayısal çözüm tekniklerinden yararlanılır. Bu teknikler ise ağırlıklı residüal yöntemleri olarak isimlendirilir. Ağırlıklı residüal yöntemlerinde fonksiyona uygun bir fonksiyonel bulmak yerine, fonksiyonun doğrudan minimize edilebileceği durumlar araştırılır. "Ağırlıklı residüal" adı ise, asıl fonksiyonun, "ağırlık fonksiyonu" adı verilen başka bir fonksiyonla çarpılmasından ileri gelmektedir. Fonksiyon, ağırlık fonksiyonu ile çarpıldıktan sonra integrali minimize edilir. Ağırlık fonksiyonunun seçilme biçimine göre değişik metodlar meydana gelir. Bu yöntemleri Zienkiewicz(1972)

- a. Yerel nokta yöntemi
- b. İç bölge yöntemi
- c. En küçük kareler yöntemi
- d. Galerkin yöntemi

şeklinde sınırlanmaktadır. Bunların en çok bilinen ve kullanılanları ise, Galerkin ve en küçük kareler yöntemleridir, Norrie ve diğ.(1978).

Ağırlıklı residüal yöntemlerini daha iyi açıklamak için aşağıda örnek olarak bir formülasyon verilmiştir.

$$\nabla^2 H = T \frac{\partial H}{\partial t} \quad (3.1)$$

fonksiyonu R bölgesinde geçerli olsun ve S_1 sınırında

$$H = g(s) \quad (3.2)$$

S_2 sınırında

$$\frac{\partial H}{\partial n} + \sigma(s) H = h(s) \quad (3.3)$$

sınır koşullarını sağlasın. (3.1) denklemi residüal olarak,

$$\nabla^2 H - T \frac{\partial H}{\partial t} = A(H) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir, Zienkiewicz(1972), Davies(1980). Gerçek denklem (3.1) den

$$\nabla^2 H - T \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (3.5)$$

olduğu görülür. Dolayısıyla (3.4) de verilen A(H) terimi doğru çözümde

$$A(H) = 0 \quad (3.6)$$

olmalıdır. Bunu sağlamak için uygulanan ağırlıklı residüal metodunda (3.4) ile verilen residüal fonksiyonu herhangi bir W_j ağırlık fonksiyonu ile çarpılıp, fonksiyonun geçerli olduğu alan üzerindeki integrali ortalama olarak sıfıra eşitlenir. Bu durum aşağıdaki gibi denklemlerle de ifade edilebilir.

(3.5) residüal denklemi $\int_R W_j dR$ ile çarpılıp bölünürse $j=1,2,\dots,n$ için

$$\frac{\int_R (\nabla^2 H - \frac{\partial H}{\partial t}) W_j dR}{\int_R W_j dR} = 0 \quad (3.7)$$

yazılabilir. Bu denklem düzenlenirse,

$$\int_R (\nabla^2 H - \frac{\partial H}{\partial t}) W_j dR = 0 \quad (3.8)$$

elde edilir. Burada W_j ağırlık fonksiyonu olarak isimlendirilir.

Asıl fonksiyona benzer şekilde sınır koşullarına ait (3.3) ve (3.2) denklemleri için de residüal fonksiyonları S_1 sınırında

$$C(H) = H - g(s) = 0 \quad (3.9)$$

S_2 sınırında

$$D(H) = \frac{\partial H}{\partial n} + \sigma(s) - h(s) = 0 \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilirler. Denklem (3.6) için yapılan işlemler bu son iki denklem için de yapılırsa, sınır koşulları için

$$\int_{S_1} (H - g(s)) w_j dS_1 = 0 \quad (3.11)$$

$$\int_{S_2} \left(\frac{\partial H}{\partial n} + \sigma(s) - h(s) \right) w_j dS_2 = 0 \quad (3.12)$$

olarak ağırlıklı residüal denklemleri elde edilir. (3.8), (3.11) ve (3.12) denklemlerinin üçü de sıfıra eşit olduğundan, bunların toplamı da sıfıra eşit olur. Dolayısıyla bu üç denklem kısaca

$$\int_R A(H) w_j dR + \int_{S_1} C(H) w_j dS_1 + \int_{S_2} D(H) w_j dS_2 = 0 \quad (3.13)$$

yazılabilir. Bu denklem verilen fonksiyon ve sınır koşullarına göre elde edilen ağırlıklı residüal denklemdir. Bu denklemi çözmek için EK.A.1. de verilen Rayleigh-Ritz yöntemindeki (A.19) denklemine benzer bir

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y) \cdot H_i(t)$$

deneme fonksiyonu seçilir. Üçgen elemanlar kullanılırsa, $n=3$ için,

$$H(x, y) = \sum_{i=1}^3 N_i(x, y) H_i(t) = N_1 H_1 + N_2 H_2 + N_3 H_3 \quad (3.14)$$

şeklinde olan deneme fonksiyonu (3.5), (3.9) ve (3.10) denklemlerinde yerlerine yazılarak sonuçta (3.13) denkleminin N şekil fonksiyonlarına ve üçgen elemanın köşe noktalarındaki H_i değerlerine bağlı bir fonksiyon olması sağlanır. Bu işlemler yapılırsa (3.13) denklemi,

$$\int_R A(H_i) w_j dR + \int_{S_1} C(H_i) w_j dS_1 + \int_{S_2} D(H_i) w_j dS_2 = 0 \quad (3.15)$$

olarak yazılabilir. Bu denklemdeki w_j ağırlık fonksiyonunun değeri, yerel nokta, iç bölge, en küçük kareler ve Galerkin yöntemleri için değişik seçilir. w_j değeri Galerkin yöntemi

için Bölüm:3.3. deki gibi alınırken, diğer ağırlıklı residüal yöntemlerinde EK:B. deki gibi alınır.

3.3. Galerkin Yöntemi

Galerkin yönteminde, ağırlık fonksiyonu ile çarpılan residüalin integrali sifıra eşitlenir. Bu yöntemde ağırlık fonksiyonu,

$$W_j = N_j \quad (3.16)$$

şeklinde alınır. Yani ağırlıklı residüal yöntemlerine ait olan ve (3.15) ile verilen genel çözüm denkleminde $W_j = N_j$ alınarak çözüm yapılır, Zienkiewicz(1972 ve 1977).

Galerkin yöntemi Bölüm:4 de problemin formülasyonu yapılırken daha açık bir şekilde anlatılmıştır. Bu nedenle burada üzerinde fazla durulmayacaktır.

3.4. Şekil Fonksiyonları

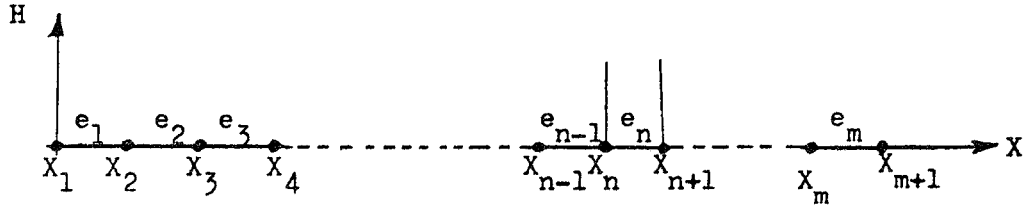
Sonlu elemanlar yönteminde problemin çözüm bölgesi sonlu elemanlara bölünerek çözüm yapılır. Problem boyutuna bağlı olarak bu sonlu elemanlar,

- a. Bir boyutlu
- b. İki boyutlu
- c. Üç boyutlu

olurlar. Bu elemanları Zienkiewicz(1977), Mitchell ve diğ. (1977), Norrie ve Diğ.(1978) ve daha birçok araştırmacı ve yazar oldukça geniş bir şekilde incelemişlerdir. Ancak burada fikir vermek amacıyla bir ve iki boyutlu sonlu elemanlara ilişkin şekil fonksiyonlarından kısaca bahsedilecektir.

3.4.1. Bir Boyutlu Sonlu Eleman

Bir boyutlu problemlerde çözüm bölgesi Şekil:3.1. deki gibi çizgisel sonlu elemanlara bölünebilir. Bu çözümde $0 \leq x \leq L$ çözüm bölgesi m adet sonlu e elemanına bölünmüştür. Burada her elemanın iki uç noktasına göre iki şekil fonksiyonu elde edilir. Dolayısıyla toplam şekil fonksiyonlarının sayısı, eleman sayısının iki katı olur.



Şekil:3.1. m adet sonlu elemana bölünmüş bir boyutlu problem.

Şekil:3.1. deki gibi bir boyutlu problemde n . eleman olan e_n elemanına ilişkin iki tane şekil fonksiyonu elde edilir. Bunlar $x = x_n$ ve $x = x_{n+1}$ noktalarına ait şekil fonksiyonları olup, aşağıdaki bağıntılardan elde edilirler, Norrie ve diğ.(1978).

n noktasındaki şekil fonksiyonu,

$$N_n^{e_n} = \frac{x - x_{n+1}}{x_n - x_{n+1}} \quad (3.17)$$

$(n+1)$ noktasındaki şekil fonksiyonu

$$N_{n+1}^{e_n} = \frac{x_{n+1} - x}{x_{n+1} - x_n} \quad (3.18)$$

olarak Lagrangian polinomları yardımıyla bulunur.

İki uç noktası olan bir eleman için iki tane şekil fonksiyonu elde edilirken, iki elemanı birleştiren bir tek noktada, her eleman için bir tane olmak üzere iki tane şekil fonksiyonu sözkonusudur. Yani bir noktada, o noktaya komşu

eleman sayısı kadar şekil fonksiyonu vardır. Bu durumda Şekil:3.1. deki $x=x_n$ noktası ele alınır, bu noktada biri e_{n-1} elemanına, diğeri e_n elemanına ait olmak üzere $N_n^{e_{n-1}}$ ve $N_n^{e_n}$ şeklinde iki tane şekil fonksiyonu olduğu sonucuna varılır. Bu şekil fonksiyonlarından $N_n^{e_{n-1}}$ in (3.18) bağıntısından, $N_n^{e_n}$ in ise (3.17) bağıntısından hesaplanacağı söz konusu bağıntılardan kolayca anlaşılabilir.

Denklem (3.17) den

$$x=x_n \quad \text{için} \quad N_n^{e_n} = 0 \quad (3.19)$$

$$x=x_{n+1} \quad \text{için} \quad N_n^{e_n} = 1$$

ve denklem (3.18) den

$$x=x_{n+1} \quad \text{için} \quad N_{n+1}^{e_n} = 0 \quad (3.20)$$

$$x=x_n \quad \text{için} \quad N_{n+1}^{e_n} = 1$$

olduğu görülür. Buradan da n. eleman için

$$N_n^{e_n}(x) + N_{n+1}^{e_n}(x) = 1 \quad (3.21)$$

yazılabilir, Norrie ve diğ.(1978). Böylece bir boyutlu problemde n. eleman için deneme fonksiyonu, bu elemanın Şekil:3.1. deki gibi $x=x_n$ ve $x=x_{n+1}$ noktalarına ilişkin şekil fonksiyonlarına bağlı olarak,

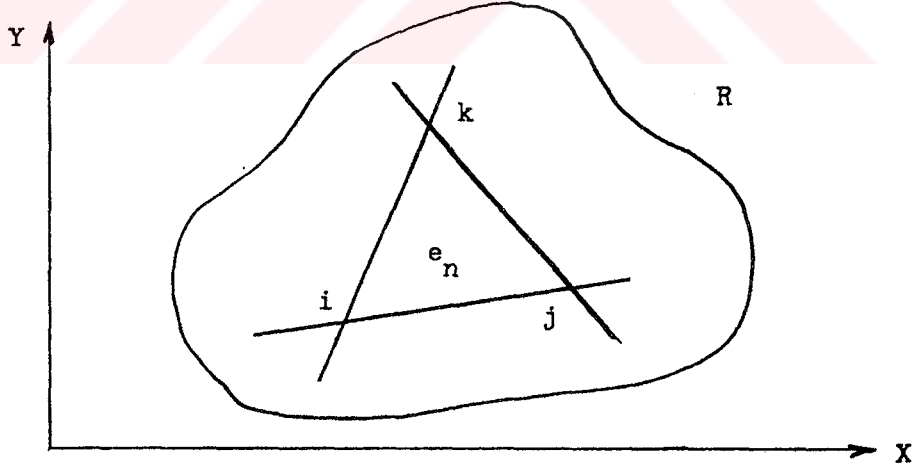
$$H_n^{e_n}(x) = N_n^{e_n}(x) H_n + N_{n+1}^{e_n}(x) H_{n+1} \quad (3.22)$$

denklemini ile verilir.

3.4.2. İki Boyutlu Sonlu Elemanlar

İki boyutlu problemlerde çalışma bölgesi dörtgen ya da üçgen elemanlara bölünür. Burada üçgen eleman kullanılacağından dörtgen elemanlardan bahsedilmeyecek, sadece bilgi edilmesi amacıyla ilgili referanslar; Zienkiewicz(1977 ve 1972) Mitchell ve diğ.(1977), Norrie ve diğ.(1978), Davies(1980), Chari ve diğ.(1980) olarak verilecektir. Ancak hem dörtgen elemanlardan daha avantajlı olduğu, Zienkiewicz(1977), hemde burada kullanılacağı için üçgen eleman ve buna ilişkin şekil fonksiyonlarından bahsedilecektir.

Şekil:3.2. de üçgen elemanlara bölünmüş bir çalışma bölgesinin n . üçgen elemanı görülmektedir. Verilen bu üçgen eleman doğrusal bir eleman olup, bunun dışında her kenarının ikiye bölündüğü ikinci dereceden, üçe bölündüğü üçüncü dereceden ve bölünme sayısına göre daha yüksek derecelerden üçgen elemanlar da kullanılır, Zienkiewicz(1977), Mitchell ve diğ.(1977)



Şekil:3.2. R çözüm bölgesindeki n . üçgen eleman ve i , j , k köşe noktaları.

Üçgen eleman ailesi ve alan koordinatları ile ilgili olarak yukarıda verilen referanslarda oldukça geniş bilgiler

sunulmuş ve şekil fonksiyonları, alan koordinatlarından hareketle bulunmuştur. Burada ise şekil fonksiyonlarının bulunması deneme fonksiyonlarından yola çıkılarak elde edilecektir.

Şekil:3.2. deki gibi iki boyutlu bir problemde n. üçgen elemanın i, j ve k köşelerinde bu n. elemana ilişkin deneme fonksiyonları,

$$\begin{aligned} H_i^n &= A^n x_i + B^n y_i + C^n \\ H_j^n &= A^n x_j + B^n y_j + C^n \\ H_k^n &= A^n x_k + B^n y_k + C^n \end{aligned} \quad (3.23)$$

bağıntıları ile temsil edilebilir, Aral(1974). Bu denklem sistemi matris biçiminde

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \\ x_k & y_k & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A^n \\ B^n \\ C^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_i^n \\ H_j^n \\ H_k^n \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

yazılıp, Cramer yöntemiyle çözümlenerek A^n , B^n ve C^n değerleri bulunur. bu işlemler yapılırsa,

$$2\Delta = \begin{vmatrix} x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \\ x_k & y_k & 1 \end{vmatrix} = i, j, k \text{ üçgen eleman alanının iki katı} \quad (3.25)$$

determinantının sonucundan üçgen eleman alanının iki katı

$$2\Delta = (x_j y_k - x_k y_j) + (x_k y_i - x_i y_k) + (x_i y_j - x_j y_i)$$

olarak, ya da üçgen eleman alanı,

$$\Delta = \frac{1}{2} ((x_j y_k - x_k y_j) + (x_k y_i - x_i y_k) + (x_i y_j - x_j y_i)) \quad (3.26)$$

olarak elde edilir.

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} H_i^n & y_i & 1 \\ H_j^n & y_j & 1 \\ H_k^n & y_k & 1 \end{vmatrix}, \Delta_2 = \begin{vmatrix} x_i & H_i^n & 1 \\ x_j & H_j^n & 1 \\ x_k & H_k^n & 1 \end{vmatrix}, \Delta_3 = \begin{vmatrix} x_i & y_i & H_i^n \\ x_j & y_j & H_j^n \\ x_k & y_k & H_k^n \end{vmatrix} \quad (3.27)$$

olmak üzere,

$$\begin{aligned} A^n &= \frac{\Delta_1}{2\Delta} \frac{(y_j - y_k)H_i^n + (y_k - y_i)H_j^n + (y_i - y_j)H_k^n}{2\Delta} \\ B^n &= \frac{\Delta_2}{2\Delta} \frac{(x_k - x_j)H_i^n + (x_i - x_k)H_j^n + (x_j - x_i)H_k^n}{2\Delta} \\ C^n &= \frac{\Delta_3}{2\Delta} \frac{(x_j y_k - x_k y_j)H_i^n + (x_k y_i - x_i y_k)H_j^n + (x_i y_j - x_j y_i)H_k^n}{2\Delta} \end{aligned} \quad (3.28)$$

bulunurlar. Bu A^n , B^n ve C^n değerleri bir üçgen içinde deneme fonksiyonu olarak kullanılabilen

$$H^n = A^n x + B^n y + C^n \quad (3.29)$$

polinomunda, Chari ve diğ.(1980), Mitchell ve diğ.(1977), A-ral(1974), yerlerine yazılırlarsa,

$$\begin{aligned} H^n &= \frac{1}{2\Delta} ((y_j - y_k)H_i^n + (y_k - y_i)H_j^n + (y_i - y_j)H_k^n) \times \\ &+ \frac{1}{2\Delta} ((x_k - x_j)H_i^n + (x_i - x_k)H_j^n + (x_j - x_i)H_k^n) y \\ &+ \frac{(x_j y_k - x_k y_j)H_i^n + (x_k y_i - x_i y_k)H_j^n + (x_i y_j - x_j y_i)H_k^n}{2\Delta} \end{aligned}$$

şeklini alır. Buradan,

$$\begin{aligned}
 H^n = & \frac{(y_j - y_k)x + (x_k - x_j)y + (x_j y_k - x_k y_j)}{2\Delta} \cdot H_i^n \\
 & + \frac{(y_k - y_i)x + (x_i - x_k)y + (x_k y_i - x_i y_k)}{2\Delta} \cdot H_j^n \\
 & + \frac{(y_i - y_j)x + (x_j - x_i)y + (x_i y_j - x_j y_i)}{2\Delta} \cdot H_k^n
 \end{aligned} \quad (3.30)$$

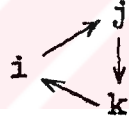
ifadesi elde edilir. Bu denklemi kısaltmak için

$$a_i = (y_j - y_k) \quad b_i = (x_k - x_j) \quad c_i = (x_j y_k - x_k y_j)$$

$$a_j = (y_k - y_i) \quad b_j = (x_i - x_k) \quad c_j = (x_k y_i - x_i y_k)$$

$$a_k = (y_i - y_j) \quad b_k = (x_j - x_i) \quad c_k = (x_i y_j - x_j y_i)$$

veya determinant olarak



yerini alma sırasına göre,

$$a_i = \begin{vmatrix} y_j & 1 \\ y_k & 1 \end{vmatrix} \quad b_i = \begin{vmatrix} x_k & 1 \\ x_j & 1 \end{vmatrix} \quad c_i = \begin{vmatrix} x_j & x_k \\ y_j & y_k \end{vmatrix} \quad (3.31)$$

alınırsa,

$$H^n = \frac{(a_i x + b_i y + c_i)}{2\Delta} H_i^n + \frac{(a_j x + b_j y + c_j)}{2\Delta} H_j^n + \frac{(a_k x + b_k y + c_k)}{2\Delta} H_k^n \quad (3.32)$$

olur. Aşağıdaki eşitlikler yazılarak bu ifade daha da kısaltılabilir. Yani (3.32) denkleminde,

$$\begin{aligned}
N_i^n &= \frac{1}{2\Delta} (a_i x + b_i y + c_i) \\
N_j^n &= \frac{1}{2\Delta} (a_j x + b_j y + c_j) \\
N_k^n &= \frac{1}{2\Delta} (a_k x + b_k y + c_k)
\end{aligned} \tag{3.33}$$

olarak alınır, (3.32) denklemi, dolayısıyla da (3.30) denklemi

$$H^n = N_i^n H_i^n + N_j^n H_j^n + N_k^n H_k^n \tag{3.34}$$

şeklinde elde edilmiş olur. Yine (3.31) eşitliklerinin kullanılmasıyla da (3.26) ile verilen üçgen eleman alanına ilişkin bağıntı daha kısa olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta = \frac{1}{2} (c_i + c_j + c_k) \tag{3.35}$$

Buna benzer şekilde, (3.31) eşitlikleri kullanılarak, deneme fonksiyonları olarak verilen (3.23) deki katsayıları veren (3.28) eşitlikleri de,

$$\begin{aligned}
A^n &= \frac{1}{2\Delta} (a_i H_i^n + a_j H_j^n + a_k H_k^n) \\
B^n &= \frac{1}{2\Delta} (b_i H_i^n + b_j H_j^n + b_k H_k^n) \\
C^n &= \frac{1}{2\Delta} (c_i H_i^n + c_j H_j^n + c_k H_k^n)
\end{aligned} \tag{3.36}$$

olarak daha kısa bir biçimde ifade edilebilir.

(3.34) ile verilen deneme fonksiyonu, (A.19) ve (3.14) ile verilen deneme fonksiyonlarının aynısıdır. Burada,

N_i^e, N_j^e ve N_k^e : n. üçgen elemanın i, j ve k köşe noktalarında bu elemana ilişkin x y koordinatlarına bağlı şekil fonksiyonları,

H_i^e, H_j^e ve H_k^e : n. üçgen elemanın i, j ve k köşe noktalarında H in zamana bağlı fonksiyonlarıdır.

(3.33) denkleminde, Bölüm:4 de kullanılacak olan

$$\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} N_i^e \\ N_j^e \\ N_k^e \end{bmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} a_i \\ a_j \\ a_k \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \begin{bmatrix} N_i^e \\ N_j^e \\ N_k^e \end{bmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i \\ b_j \\ b_k \end{bmatrix}$$

eşitlikleri elde edilir. Bir üçgen elemana ilişkin şekil fonksiyonları arasında o elemanın alan koordinatlarından kaynaklanan

$$N_i^e + N_j^e + N_k^e = 1 \quad (3.38)$$

şeklinde bir eşitlik vardır. Ayrıca Şekil:3.2. deki üçgen elemanın sadece i köşe noktasında H fonksiyonu geçerli olur-
sa, bu i. noktada

$$N_i^e = 1 \quad (3.39.a)$$

j ve k noktalarında

$$N_j^{e_n} = N_k^{e_n} \quad 0 \quad (3.39.b)$$

dır. Buna benzer şekilde eğer H fonksiyonu Şekil:3.2 deki üçgen elemanın j ve k noktalarını birleştiren kenar üzerinde geçerli olursa,

$$\begin{aligned} i \text{ noktasında} \quad N_i^{e_n} &= 0 \\ j \text{ ve } k \text{ noktalarında} \quad N_j^{e_n} + N_k^{e_n} &= 1 \end{aligned} \quad (3.40)$$

olur. Bu son durumda sonlu elemanın çizgisel bir eleman olması ve iki uç noktası bulunması nedeniyle, bu uç noktalarına ait iki şekil fonksiyonu olacaktır. Bunların dışında Şekil:3.2. de verilen üçgen elemana ilişkin alan koordinatları ile şekil fonksiyonları,

$$\begin{aligned} N_i^{e_n} &= L_i^{e_n} \\ N_j^{e_n} &= L_j^{e_n} \\ N_k^{e_n} &= L_k^{e_n} \end{aligned} \quad (3.41)$$

olarak birbirlerine eşittir.

(3.39) ve (3.40) ile verilen eşitlikler alan koordinatları cinsinden de yazılabilirler. Bunun için sözkonusu bağıntılarda N şekil fonksiyonları yerine L alan koordinatlarını yazmak yeterlidir.

BÖLÜM 4. GİRDAP AKIMI KAYIPLARININ SONLU ELEMANLAR GALERKİN YÖNTEMİYLE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

4.1. Giriş

Bu bölümde magnetik alan içerisinde bulunan demir çekirdekte meydana gelecek girdap akımı kayıpları sayısal bir yöntemle incelenecektir. Daha önceki bölümlerde sık sık bahsedildiği gibi sayısal yöntem olarak sonlu elemanlar Galerkin yöntemi kullanılacaktır. Varyasyonel hesap yönteminin ancak belirli özellikteki problemlere uygulanabilir olması, Aral (1974), Zienkiewicz(1977), ağırlıklı residüal yöntemlerinin önemini artırmaktadır. Ağırlıklı residüal yöntemlerinin içinde ise Galerkin yöntemi gerçeğe en yakın değeri veren çözümü sağladığından tercih edilir. Gerçeğe en yakın değerleri verdiği ve doğrusal olmayan problemlere uygulanabildiği için, burada da Galerkin yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.2. Galerkin Formülasyonu

Bu bölümde, daha önce alan denklemlerinden elde edilen ve (2.17) bağıntısı ile verilen

$$\nabla^2 H = \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t}$$

şeklindeki denklem sonlu elemanlar Galerkin yöntemine göre sayısal olarak formüle edilecektir. (2.17) bağıntısı iki boyutlu olarak,

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = \sigma \mu^{(H)} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denkleme ilişkin residüal,

$$A(H) = \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} - \sigma \mu^{(H)} \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \quad (4.2)$$

olarak, çözüm bölgesi R de geçerli olmak üzere ifade edilir. sınır koşullarına ilişkin residüaller ise, S_1 sınır koşulunu veren

$$H = H_0 \quad (4.3)$$

bağıntısından S_1 sınırı için

$$C(H) = H - H_0 = 0 \quad (4.4)$$

ve S_2 sınır koşulunu veren

$$\frac{\partial H}{\partial n} = 0 \quad (4.5)$$

bağıntısından S_2 sınır için

$$D(H) = \frac{\partial H}{\partial n} = 0 \quad (4.6)$$

olarak belirlenir. Bu durumda ağırlıklı residüal integralleri,

$$\int_R A(H) W \, dR + \int_{S_1} C(H) W \, dS_1 + \int_{S_2} D(H) W \, dS_2 = 0 \quad (4.7)$$

olur. Galerkin yönteminde ağırlık fonksiyonu W, şekil fonksiyonu N'e eşit olduğu için (4.7) denkleminde

$$W = N \quad (4.8)$$

yazmak suretiyle ağırlıklı residüal integralleri Galerkin integrallerine dönüştürülür. Böylece Galerkin integralleri-

$$\int_R A(H) N \, dR + \int_{S_1} C(H) N \, dS_1 + \int_{S_2} D(H) N \, dS_2 = 0 \quad (4.9)$$

şeklinde elde edilir. Bu denklemde N şekil fonksiyonu yerine n . üçgen elemanın i , j ve k noktalarına ilişkin şekil fonksiyonları sıra ile yazılırsa,

$$\int_R A(H) N_i^n dR + \int_{S1} C(H) N_i^n dS_1 + \int_{S2} D(H) N_i^n dS_2 = 0 \quad (4.10)$$

$$\int_R A(H) N_j^n dR + \int_{S1} C(H) N_j^n dS_1 + \int_{S2} D(H) N_j^n dS_2 = 0 \quad (4.11)$$

$$\int_R A(H) N_k^n dR + \int_{S1} C(H) N_k^n dS_1 + \int_{S2} D(H) N_k^n dS_2 = 0 \quad (4.12)$$

olarak bir üçgen eleman için üç denklem elde edilmiş olur. Gereksiz işlemlerden kaçınmak amacıyla bu denklemlerden yalnızca bir tanesine ait formülasyon yapılacak, daha sonra sonuç diğerleri için genelleştirilecektir.

Galerkin formülasyonu yapılacak denklem (4.10) denklemi olsun. Bu denklemde $A(H)$, $C(H)$ ve $D(H)$ açık şekilde yazılırsa,

$$\begin{aligned} \int_R \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} - \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} \right) N_i dR \\ + \int_{S1} (H - H_0) N_i dS_1 + \int_{S2} \frac{\partial H}{\partial n} N_i dS_2 = 0 \end{aligned} \quad (4.13)$$

denkleme dönüştür. Buradan,

$$\int_R \nabla^2 H N_i dR - \int_R \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} N_i dR + \int_{S1} (H - H_0) N_i dS_1 + \int_{S2} \frac{\partial H}{\partial n} N_i dS_2 = 0 \quad (4.14)$$

yazılarak ilk terime 1. Green teoremi uygulanırsa

$$\begin{aligned} - \int_R \text{grad } H \cdot \text{grad } N_i dR - \int_S N_i \frac{\partial H}{\partial n} ds - \int_R \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} N_i dR \\ + \int_{S1} (H - H_0) N_i dS_1 + \int_{S2} \frac{\partial H}{\partial n} N_i dS_2 = 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

elde edilir. S_1 sınırı üzerinde H fonksiyonu (2.39) ve (4.3) ile verilen homojen olmayan Dirichlet sınır koşulunu sağlamak zorundadır. Yani S_1 sınırı üzerinde $N_i = 0$ dir. Bu nedenle (4.15) denkleminde S_1 ile ilgili terimler sıfır olacağından bu denklem,

$$-\left(\int_R \text{grad} H \cdot \text{grad} N_i dR + \int_R \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} N_i dR + \int_S N_i \frac{\partial H}{\partial n} ds - \int_{S_2} N_i \frac{\partial H}{\partial n} dS_2 \right) = 0 \quad (4.16)$$

olur. Buradaki son iki terimin toplamı da sıfır olacağından,

$$\int_R \text{grad} H \cdot \text{grad} N_i dR + \int_R \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} N_i dR = 0 \quad (4.17)$$

denklemini elde edilir. İki boyutlu durum için,

$$\text{grad} H \cdot \text{grad} N_i = \nabla H \cdot \nabla N_i = \frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} \quad (4.18)$$

eşitliği, (4.17) de yerine yazılırsa,

$$\int_R \left(\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} \right) dR + \int_R \sigma \mu(H) \frac{\partial H}{\partial t} N_i dR = 0 \quad (4.19)$$

denklemini bulunur. Bu denklemdeki H yerine üçgen elemanın i , j ve k köşe noktalarındaki H_i değerleriyle N şekil fonksiyonlarına bağlı olan ve (3.34) bağıntısıyla verilen deneme fonksiyonuna ilişkin bağıntı konulursa

$$\begin{aligned} \int_R \left(\frac{\partial}{\partial x} (N_i^n H_i + N_j^n H_j + N_k^n H_k) \frac{\partial N_i^n}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (N_i^n H_i + N_j^n H_j + N_k^n H_k) \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \right) dR \\ + \int_R \left(\sigma \cdot \mu(H) \frac{\partial}{\partial t} (N_i^n H_i + N_j^n H_j + N_k^n H_k) N_i \right) dR = 0 \end{aligned} \quad (4.20)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemden

$$\int_R \left(\frac{\partial N_i^n}{\partial x} \frac{\partial N_i^n}{\partial x} H_i + \frac{\partial N_j^n}{\partial x} \frac{\partial N_i^n}{\partial x} H_j + \frac{\partial N_k^n}{\partial x} \frac{\partial N_i^n}{\partial x} H_k \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \frac{\partial N_i^n}{\partial y} H_i + \frac{\partial N_j^n}{\partial y} \frac{\partial N_i^n}{\partial y} H_j + \frac{\partial N_k^n}{\partial y} \frac{\partial N_i^n}{\partial y} H_k) dR \\
& + \int_R \sigma \mu(H) \cdot \left(\frac{\partial H_i}{\partial t} N_i^n N_i^n + \frac{\partial H_j}{\partial t} N_j^n N_i^n + \frac{\partial H_k}{\partial t} N_k^n N_i^n \right) dR = 0
\end{aligned}$$

yazılıp, gerekli düzeltmeler yapılırsa,

$$\begin{aligned}
& \int_R \left(\left(\frac{\partial N_i^n}{\partial x} \frac{\partial N_i^n}{\partial x} + \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \right) H_i + \left(\frac{\partial N_i^n}{\partial x} \frac{\partial N_j^n}{\partial x} + \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \frac{\partial N_j^n}{\partial y} \right) H_j \right. \\
& \quad \left. + \left(\frac{\partial N_i^n}{\partial x} \frac{\partial N_k^n}{\partial x} + \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \frac{\partial N_k^n}{\partial y} \right) H_k \right) dR \\
& + \sigma \mu(H) \left(\left(\int_R N_i^n N_i^n dR \right) \frac{\partial H_i}{\partial t} + \left(\int_R N_i^n N_j^n dR \right) \frac{\partial H_j}{\partial t} \right. \\
& \quad \left. + \left(\int_R N_i^n N_k^n dR \right) \frac{\partial H_k}{\partial t} \right) = 0 \tag{4.21}
\end{aligned}$$

elde edilir bu denklemde,

$$S_{ij}^n = \iint_R \left(\frac{\partial N_i^n}{\partial x} \frac{\partial N_j^n}{\partial x} + \frac{\partial N_i^n}{\partial y} \frac{\partial N_j^n}{\partial y} \right) dx dy \tag{4.22}$$

$$K_{ij}^n = \iint_R N_i^n N_j^n dx dy \tag{4.23}$$

ve

$$\dot{H}_i = \frac{\partial H_i}{\partial t} \tag{4.24}$$

kısaltmaları yapılırsa,

$$\left(S_{ii}^n \dot{H}_i + S_{ij}^n \dot{H}_j + S_{ik}^n \dot{H}_k \right) + \sigma \mu(H) \left(K_{ii}^n \dot{H}_i + K_{ij}^n \dot{H}_j + K_{ik}^n \dot{H}_k \right) = 0 \tag{4.25}$$

şeklinde sade bir denklem elde edilir.

Hatırlanacağı gibi, bu denklem elde edilirken, gereksiz

işlemlerden kaçınmak amacıyla (4.9) denklemi ile verilen Galerkin integrallerinde sadece üçgen elemanın 1. köşe noktasına ait N_i nin kullanılmasıyla yazılan (4.10) denklemi ele alınarak formülasyon yapıldı. Eğer (4.11) ve (4.12) denklemleri içinde aynı işlemler yapılsaydı, bu üç denklem için, yani, (4.10), (4.11) ve (4.12) denklemleri için aşağıdaki üç denklem elde edilecekti.

$$\begin{aligned} S_{ii}^n H_i + S_{ij}^n H_j + S_{ik}^n H_k + \sigma \mu(H) [K_{ii}^n \dot{H}_i + K_{ij}^n \dot{H}_j + K_{ik}^n \dot{H}_k] &= 0 \\ S_{ji}^n H_i + S_{jj}^n H_j + S_{jk}^n H_k + \sigma \mu(H) [K_{ji}^n \dot{H}_i + K_{jj}^n \dot{H}_j + K_{jk}^n \dot{H}_k] &= 0 \\ S_{ki}^n H_i + S_{kj}^n H_j + S_{kk}^n H_k + \sigma \mu(H) [K_{ki}^n \dot{H}_i + K_{kj}^n \dot{H}_j + K_{kk}^n \dot{H}_k] &= 0 \end{aligned} \quad (4.26)$$

Bu denklemler matris biçiminde,

$$\begin{bmatrix} S_{ii}^n & S_{ij}^n & S_{ik}^n \\ S_{ji}^n & S_{jj}^n & S_{jk}^n \\ S_{ki}^n & S_{kj}^n & S_{kk}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_i \\ H_j \\ H_k \end{bmatrix} + \sigma \mu(H) \begin{bmatrix} K_{ii}^n & K_{ij}^n & K_{ik}^n \\ K_{ji}^n & K_{jj}^n & K_{jk}^n \\ K_{ki}^n & K_{kj}^n & K_{kk}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{H}_i \\ \dot{H}_j \\ \dot{H}_k \end{bmatrix} = 0 \quad (4.27)$$

yazılarak,

$$[S] [H] + \sigma \mu(H) \cdot [K] [\dot{H}] = 0 \quad (4.28)$$

şeklinde kısaltılabilir. Burada,

$[S]$: Şekil fonksiyonlarına, dolayısıyla x-y koordinatlarına bağlı bir katsayı matrisi olup, boyutu üçgen elemanların köşelerini oluşturan nokta sayısı kadardır.

$[H]$: Üçgen elemanların köşe noktalarına ait magnetik alan değerleri olup, t zamanına bağlıdırlar.

σ : Malzemenin iletkenliği

$\mu(H)$: H magnetik alanının değerlerine bağlı magnetik geçirgenlik(permeabilite)

$[K]$: Yapı ve özellik bakımından S matrisi ile aynı olup, sadece değeri değişiktir.

$[\dot{H}]$: $\partial H / \partial t$ olarak, magnetik alan şiddetinin zamana göre kısmi türevidir. Buradaki H magnetik alan şiddetleri de üçgen eleman köşelerindeki değerlerdir.

4.3. Denklemlerin Zamana Göre İntegrasyonu

Elde edilen (4.28) denklem sistemindeki birinci dereceden diferansiyel denklem takımının çözümü sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılabilir, Aral(1976). Bunun için denklem (4.28) de $[H]$ yerine $H_{t+\Delta t}$ ve H_t zamanlarındaki ortalamaları,

$$[H] = \left[\frac{H_{t+\Delta t} + H_t}{2} \right] \quad (4.29)$$

ve $[\dot{H}]$ fonksiyonunun zamana bağlı türevi ileri farklarla

$$[\dot{H}] = \left[\frac{\partial H}{\partial t} \right] = \left[\frac{H_{t+\Delta t} - H_t}{\Delta t} \right] \quad (4.30)$$

yazılıp (4.28) denklem sisteminde yerlerine konulursa,

$$[S] \left[\frac{H_{t+\Delta t} + H_t}{2} \right] + \sigma \mu(H) [K] \left[\frac{H_{t+\Delta t} - H_t}{\Delta t} \right] = 0 \quad (4.31)$$

elde edilir. Bu denklem $2\Delta t$ ile çarpılırsa

$$\Delta t [S] [H_{t+\Delta t} + H_t] + 2\sigma \mu(H) [K] [H_{t+\Delta t} - H_t] = 0 \quad (4.32)$$

elde edilir. Buradan da,

$$\{\Delta t [S] + 2\sigma \mu(H) [K]\} [H_{t+\Delta t}] = \{2\sigma \mu(H) [K] - \Delta t [S]\} [H_t] \quad (4.33)$$

yazılarak genel çözüm denklemi,

$$\left\{ [S] + \frac{2\sigma \mu(H)}{\Delta t} [K] \right\} [H_{t+\Delta t}] = \left\{ \frac{2\sigma \mu(H)}{\Delta t} [K] - [S] \right\} [H_t] \quad (4.34)$$

olur. Bu denklem sisteminde $[S]$ ve $[K]$ matrisleri (4.22) ve (4.23) bağıntılarının kullanılmasıyla (4.27) denklemindeki biçimde elde edilirler. $[H_t]$ matrisi başlangıç değerlerini içeren matris olup, bu matrisle $[S]$ ve $[K]$ matrisleri kullanılarak $[H_{t+\Delta t}]$ değerleri hesaplanır. Bir sonraki zaman adımı $t_2 = t_1 + 2\Delta t$ anındaki H değeri olan $[H_{t_1+2\Delta t}]$ değerini hesaplamak için yukarıdaki denklemde $[H_t]$ yerine ilk adımda hesaplanan $[H_{t+\Delta t}]$ değeri kullanılır. Daha sonraki zaman artımları için de benzer iterasyon işlemleri yapılarak belirli bir t zamanına kadar (4.34) denklemi zamana bağlı olarak integre edilmiş olur.

4.4. Girdap Akımı Kayıplarının Sayısal Olarak Elde Edilmesi

Girdap akımı kayıpları (2.33) denkleminin ileri yön sonlu farklar cinsinden ifadesinin

$$\vec{J} = \left[\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta y} \right] \vec{i} - \left[\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta x} \right] \vec{j} \quad (4.35)$$

şeklinde yazılmasıyla elde edilir. Bu denklemde,

$$J_x = \frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta y} \quad (4.36)$$

$$J_y = \frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta x} \quad (4.37)$$

olup, burada H_n , y_n ve x_n noktalarındaki H değerleri, H_{n-1} değeri ise, y_{n-1} ve x_{n-1} noktalarındaki H değeridir. (4.36) ve (4.37) eşitliklerinin (4.35) de kullanılmalarıyla girdap akımları ifadesi,

$$\vec{J} = J_x \vec{i} - J_y \vec{j} \quad (4.38)$$

şeklinde vektörel olarak elde edilir. Bunun modülü ise

$$|\vec{J}| = \sqrt{J_x^2 + J_y^2} \quad (4.39)$$

dir. Dolayısıyla, (4.35) denkleminin modülü,

$$|\vec{J}| = \sqrt{\left(\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta x}\right)^2} \quad (4.40)$$

olur. Burada her iki tarafın karesi alınır, (2.24) denkleminde kullanılacak olan J^2 ,

$$|\vec{J}|^2 = \left[\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta y}\right]^2 + \left[\frac{H_n - H_{n-1}}{\Delta x}\right]^2 \quad (4.41)$$

olarak elde edilir.

BÖLÜM 5. B-H KARAKTERİSTİĞİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

5.1. Giriş

Magnetik malzemelerde histeresiz olaylarına neden olan magnetik etki, bu malzemelerle ilgili alan problemlerinin çözümünü güçleştirir. Dolayısıyla magnetik akı dağılımı $\vec{B}$ ile magnetik alan şiddeti $\vec{H}$ arasındaki ilişkiyi sağlayan uygun bir fonksiyona ihtiyaç duyulur. Bu amaçla bugüne kadar B-H karakteristiğini temsil edebilen birçok fonksiyon geliştirilmiştir. Bunların en çok tanınanı

$$B = \mu H \quad (5.1)$$

ile verilen bağıntıdır. Bu bağıntıda permeabilitesi ne kadar doğru bir değere sahip olursa B magnetik akı dağılımı da o oranda doğru bir değere sahip olacaktır. Bu nedenle B-H karakteristiğinin matematiksel modeli yapılırken asıl güçlük magnetik geçirgenliğinin temsil edilebilme durumundan kaynaklanmaktadır. Bu güçlükten kurtulmak amacıyla mıknatıslanma eğrisi yani B-H karakteristiğinin bilinen arctanjant, hiperbolik,exponansiyel Simpson(1973), rasyonel kesirli sayılar Widger(1969) ve Frohlich eğrisi Stoll(1974) ile temsil edilebildiği teknikler geliştirilmiştir. Ancak bunların hepsi aynı doğruluk ve kolaylıkla B-H karakteristiğini temsil edebilme özelliğine sahip değildir. Rasyonel kesirli sayılar ve Frohlich eğrisinin kullanılabileceği özel ve sınırlı durumlar, Stoll(1974) tarafından açıklanmıştır.

Bu yöntemlerden en duyarlıklı sonuç veren exponansiyel yaklaşım, Simpson(1973), tekniği burada kullanılacaktır.

5.2. B-H Karakteristiğinin Exponansiyel Serilerle Temsili

B-H karakteristiğinin temsili için katsayıları belirlemede kullanılacak olan deneysel bir B-H eğrisine ihtiyaç vardır. Bu amaçla burada kullanılacak olan eğri, Şekil.2.1. de verilen ve deneysel noktaları Akpınar(1978) tarafından elde edilen $B = f(H)$ eğrisidir.

Exponansiyel seriler metoduna göre $B(H)$

$$B(H) = \mu_0 H + \sum_{i=1}^n C_{2i-1} (1 - \exp(-C_{2i} H)) \quad (5.2)$$

olarak ifade edilebilir, Akpınar(1978). Burada üç exponansiyel terim alınarak gerekli doğruluk elde edilebilir.

Doymuş bölgenin daha doğru olarak temsil edilebilmesi için bu bölgeyi temsil edebilecek doğrusal bir terime ihtiyaç duyulur. Bu da doymuş bölgede bir doğru şeklini alan eğrinin (doğru çizginin) eğiminden μ_0 in belirlenmesi ile olur.

Bu ifade orjin yakınında doğru değildir. Böylece B-H karakteristiğinin exponansiyel serilerle ifade edilmesinden sonra bu durum hesaba katılır.

5.2.1. Katsayıların Belirlenmesi

Yukarıda kabul edildiği gibi üç terim kullanılacaktır. Bu durumda her terim iki katsayıya sahip olduğundan toplam altı katsayı belirlemek gerekir. Bunun için de B-H eğrisinden altı nokta seçilir. Seçilen noktalardan ikisi $B_1 H_1$ ve $B_2 H_2$ olsun. Her noktadan

$$B_1' = B_1 - \mu_0 H_1 \quad (5.3)$$

$$B_2' = B_2 - \mu_0 H_2$$

doğrusal terimleri çıkar. Bu denklemler birinci terimde yerlerine konursa,

$$B_1' = C_1 (1 - \exp(-C_2 H_1)) \quad (5.4)$$

$$B_2' = C_1 (1 - \exp(-C_2 H_2)) \quad (5.5)$$

olur. Bu denklemler taraf tarafa bölünerek,

$$Y_1 = \frac{B_1'}{B_2'} = \frac{(1 - \exp(-C_2 H_1))}{(1 - \exp(-C_2 H_2))} \quad (5.6)$$

elde edilir. Newton-Raphson metodu kullanılarak Y nin değerinden C_2 katsayısı hesaplanabilir. Sonra C_2 nin (5.4) veya (5.5) de yerine konulmasıyla C_1 bulunur. C_3 ve C_4 katsayılarını belirlemek için, $B_3 H_3$ ve $B_4 H_4$ şeklinde iki nokta daha alınır. Bu noktalardan,

$$\begin{aligned} B_3' &= B_3 - \mu_{H_3} \\ B_4' &= B_4 - \mu_{H_4} \end{aligned} \quad (5.7)$$

doğrusal terimleri yazılır. Sonra (5.4) ve (5.5) e benzer şekilde

$$\Delta B_3' = B_3' - C_1 (1 - \exp(-C_2 H_3)) \quad (5.8)$$

$$\Delta B_4' = B_4' - C_1 (1 - \exp(-C_2 H_4))$$

elde edilir. Buradan aşağıdaki denklemler yazılabilir.

$$\Delta B_3' = C_3 (1 - \exp(-C_4 H_3)) \quad (5.9)$$

$$\Delta B_4' = C_3 (1 - \exp(-C_4 H_4))$$

Bu durumda,

$$Y_2 = \frac{\Delta B_3'}{\Delta B_4'} = \frac{(1 - \exp(-C_4 H_3))}{(1 - \exp(-C_4 H_4))} \quad (5.10)$$

olur. Buradan C_3 ve C_4 , C_1 ve C_2 ye benzer şekilde hesaplanır. Ve sonra üçüncü defa B_5H_5 ve B_6H_6 şeklinde iki nokta daha alınarak,

$$\begin{aligned} B_5' &= B_5 - \mu_{H_5} \\ B_6' &= B_6 - \mu_{H_6} \end{aligned} \quad (5.11)$$

yazılan doğrusal denklemlerden,

$$\begin{aligned} \Delta B_5' &= B_5' - C_1(1 - \exp(-C_2 H_5)) - C_3(1 - \exp(-C_4 H_5)) \\ \Delta B_6' &= B_6' - C_1(1 - \exp(-C_2 H_6)) - C_3(1 - \exp(-C_4 H_6)) \end{aligned} \quad (5.12)$$

denklemleri elde edilir. Öte yandan

$$\begin{aligned} \Delta B_5' &= C_5 (1 - \exp(-C_6 H_5)) \\ \Delta B_6' &= C_6 (1 - \exp(-C_6 H_6)) \end{aligned} \quad (5.13)$$

olduğundan,

$$Y_3 = \frac{\Delta B_5'}{\Delta B_6'} = \frac{(1 - \exp(-C_6 H_5))}{(1 - \exp(-C_6 H_6))} \quad (5.14)$$

şeklinde olur. Buradan da C_6 ve C_5 , C_1 ve C_2 ye benzer şekilde bulunur.

Bu ilk tahmini katsayılar 5 ve 6 noktalarına tam uygun bir eğri verirler fakat diğer noktalar uygun değildir. Bütün noktaların tam uygun olması için, 1, 2 ve 3,4 noktaları için aşağıdaki işlemleri de yapmak gerekir.

$$\begin{aligned}\Delta B_1' &= B_1' - C_3(1 - \exp(-C_4 H_1)) - C_5(1 - \exp(-C_6 H_1)) \\ \Delta B_2' &= B_2' - C_3(1 - \exp(-C_4 H_2)) - C_5(1 - \exp(-C_6 H_2))\end{aligned}\quad (5.15)$$

ve

$$\begin{aligned}\Delta B_1' &= C_1 (1 - \exp(-C_2 H_1)) \\ \Delta B_2' &= C_1 (1 - \exp(-C_2 H_2))\end{aligned}\quad (5.16)$$

buradan,

$$Y_1 = \frac{\Delta B_1'}{\Delta B_2'} = \frac{(1 - \exp(-C_2 H_1))}{(1 - \exp(-C_2 H_2))} \quad (5.17)$$

C_1 ve C_2 daha önce açıklandığı gibi bulunur. Bu yeni C_1 ve C_2 değerleri (5.6) ile hesaplananlardan daha doğrudur.

Bu işlem altı noktada kabul edilebilir seviyede hataya kadar tekrarlanır. Burada unutulmaması gereken bir durum vardır. Bu da $\Delta B'$ farkında sonucun negatif olabileceğidir. Bu durum $\Delta B'$ nün mutlak değerini kullanmak suretiyle bertaraf edilebilir.

Böylece eğrinin, bulunan katsayılarla bağlı ifadesi

$$B(H) = \mu_0 H + C_1(1 - \exp(-C_2 H)) + C_3(1 - \exp(-C_4 H)) + C_5(1 - \exp(-C_6 H)) \quad (5.18)$$

şeklinde elde edilir.

5.2.2. Orjin Yakınındaki Bölgenin Temsili

Şekil:2.1 de verilen eğri ile (5.18) ifadesinden hesaplanacak eğri arasında bir fark vardır. Bu fark, orjinde sıfır, $H = H_m$ de maksimum ve $H = H$ da sıfıra doğru yaklaşır H a

karşılık düşen ΔB fark değerlerinin şekli

$$B = C_7 H \exp(-C_8 H^{C_9}) \quad (5.19)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Bu ifadedeki katsayılar, fark eğrisinden iki nokta seçilip diferansiyel alınmasıyla değerlendirilir.

$$\left. \frac{d(\Delta B)}{dH} \right|_{H=H_m} = 0 \quad (5.20)$$

Böylece B-H eğrisini temsil eden komple bir ifade yazılabilir.

$$B(H) = \mu_0 H + C_1 (1 - \exp(-C_2 H)) + C_3 (1 - \exp(-C_4 H)) + C_5 (1 - \exp(-C_6 H)) + C_7 H \exp(-C_8 H^{C_9}) \quad (5.21)$$

Ve buradan diferansiyel permeabilite,

$$\begin{aligned} \mu(H) = \frac{dB(H)}{dH} &= \mu_0 + C_1 C_2 \exp(-C_2 H) + C_3 C_4 \exp(-C_4 H) \\ &+ C_5 C_6 \exp(-C_6 H) - \\ &- C_7 \exp(-C_8 H^{C_9}) \cdot (1 - C_8 C_9 H^{C_9 - 1}) \end{aligned} \quad (5.22)$$

bağıntısı ile exponansiyel olarak ifade edilebilir.

BÖLÜM 6. SONLU ELEMAN MATRİSLERİNİN BİLGİSAYARLA ELDE EDİLİP ÇÖZÜLMESİ

6.1. Giriş

Bu bölümde, (4.34) denklemindeki $[S]$ ve $[K]$ katsayı matrislerinin bilgisayar yardımıyla nasıl elde edilip çözüldüğü açıklanacaktır. Denklem sisteminin çözümünde kullanılan ana ve altprogramlar ise Bölüm 7 de ayrıca tanıtılacaktır.

Bölüm 4 de (4.34) denklemiyle verilen

$$\left\{ [S] + \frac{2\sigma U(H)}{\Delta t} [K] \right\} [H_{t+\Delta t}] = \left\{ \frac{2\sigma U(H)}{\Delta t} [K] - [S] \right\} [H_t] \quad (6.1)$$

şeklindeki genel denklem sisteminin çözümü yapılmadan önce burada bir gösterim değişikliği yapılacak ve bilgisayar programında kullanılan tamsayı (INTEGER) harflerle karışmaması için

$$\begin{aligned} [S1] &= [S] \\ [S2] &= [K] \end{aligned} \quad (6.2)$$

alınacaktır. Bu yeni gösterime göre (6.1) denklemi,

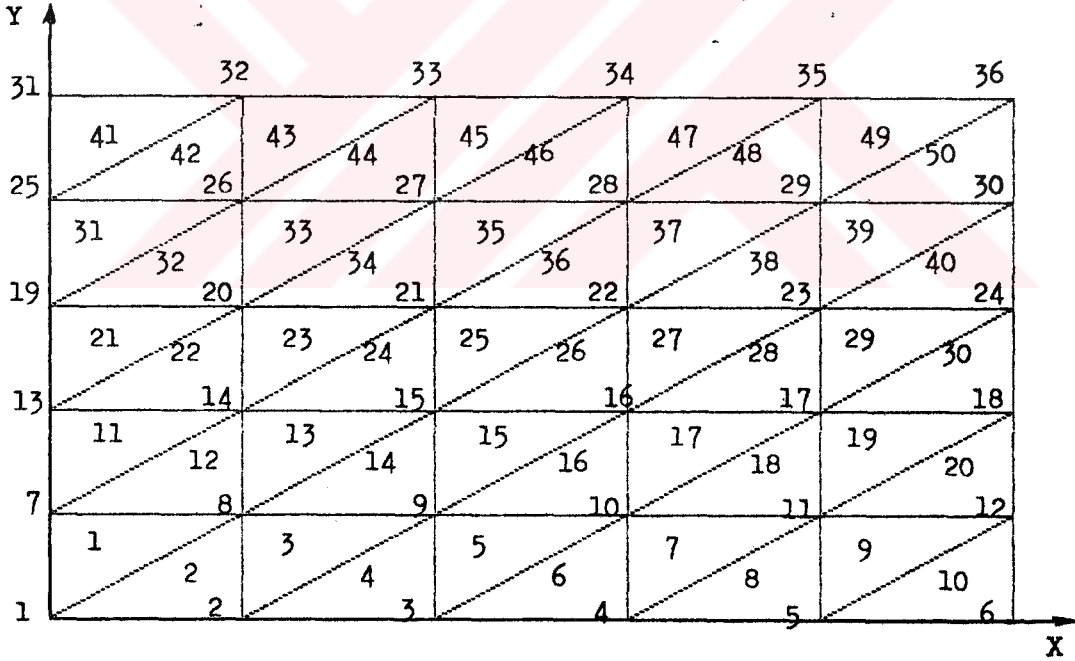
$$\left\{ [S1] + \frac{2\sigma U(H)}{\Delta t} [S2] \right\} [H_{t+\Delta t}] = \left\{ \frac{2\sigma U(H)}{\Delta t} [S2] - [S1] \right\} [H_t] \quad (6.3)$$

olur. Bilgisayar yardımıyla bu (6.3) denkleminin çözümü yapılmış olup, kullanılan programın listesi EK C. de, sonuçlar ise bölüm 8 de verilmiştir.

6.2. Katsayı Matrislerinin Elde Edilmesi

Sonlu elemanlar yönteminin uygulanması için önce çalışma bölgesi olarak verilen Şekil:2.6 daki bölge sonlu üçgen elemanlara bölünür. Bu bölmeleme işlemi önceden kağıt üzerinde yapılarak sonlu eleman sayısı, düğüm sayısı, sınır koşulu verilen düğüm sayısı, düğümlerin x-y koordinatları, düğüm ve eleman numaraları belirlenebilirse de, burada yapıldığı gibi bütün bunlar, bilgisayar yardımıyla da elde edilebilir. EK C. de verilen programda levha genişliği, levha kalınlığı ve bunlara bağlı olarak x- y eksen yönlerindeki ilerleme adımlarının belirlenmesiyle çalışma bölgesi istenilen sayıda sonlu elemanlara bölünebilir.

Bu çalışmada çalışma bölgesi elli elemana bölünmüş ve Şekil:6.1. deki gibi 36 düğüm elde edilmiştir.



Şekil:6.1. Sonlu elemanlara bölünmüş olan çalışma bölgesi.

Kullanılan program yardımıyla her düğümün x-y koordinatının, her elemanın eleman düğüm numarası ve koordinatının,

sınır koşulu verilen düğüm numaraları ve koordinatlarının belirlenmeleri sonucu $[S1]$ ve $[S2]$ matrisleri ile $[H_t]$ başlangıç ve sınır koşulu değerlerini içeren matris elde edilebilir. $[S1]$ matrisinin değerleri (4.22) de $[S]$ matrisi için verilen bağıntıdan, her bir eleman için

$$S1E(I,J) = \iint_R \left(\frac{\partial N(I)}{\partial x} \frac{\partial N(J)}{\partial x} + \frac{\partial N(I)}{\partial y} \frac{\partial N(J)}{\partial y} \right) dx dy \quad (6.4)$$

şeklinde, $S2$ matrisinin değerleri ise (4.23) de K matrisi için verilen bağıntıdan, her bir eleman için,

$$S2E(I,J) = \iint_R N(I) N(J) dx dy \quad (6.5)$$

şeklinde hesaplanır. Bu bağıntılarda,

$$\iint_R dx dy = \Delta \quad (6.6)$$

üçgen eleman alanı olup (Norrie ve diğ., 1978, s.47), (3.35) ile verilen

$$\Delta = \frac{1}{2} (C(I) + C(J) + C(K)) \quad (6.7)$$

bağıntısından hesaplanır. Ayrıca (3.33) ile verilen şekil fonksiyonlarına ilişkin bağıntılarda,

$$x = x_G = \frac{x(I) + x(J) + x(K)}{3} \quad (6.8)$$

$$y = y_G = \frac{y(I) + y(J) + y(K)}{3} \quad (6.9)$$

eşitlikleri, Remson ve diğ. (1971), kullanılarak ve (3.31) bağıntılarında



yerini alma sırasına göre,

$$A(I) = Y(J) - Y(K)$$

$$B(I) = x(K) - x(J) \quad (6.10)$$

$$C(I) = x(J) * Y(K) - x(K) * Y(J)$$

şeklinde hesaplanarak (3.33) denklemlerinde kullanılırlarsa, (6.5) deki şekil fonksiyonları,

$$N(I) = \frac{A(I) * xG + B(I) * YG + C(I)}{2 * \Delta} \quad (6.11)$$

bağıntısından hesaplanabilirler. Burada I yerine sırasıyla J ve K konularak N(J) ve N(K) değerleri de bulunur.

(3.37) denklemleri ve (6.6) eşitliği kullanılarak (6.4) bağıntısı

$$S1E(I, J) = \frac{1}{4\Delta} (A(I) * A(J) + B(I) * B(J)) \quad (6.12)$$

olarak basit bir formül haline getirilir. Benzer şekilde (6.6) ve (6.11) eşitlikleri kullanılarak (6.5) bağıntısı da aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S2E(I, J) = \frac{1}{4\Delta} (N(I) * N(J)) \quad (6.13)$$

Yukarıda verilen (6.12) ve (6.13) bağıntılarıyla herhangi bir elemanın i, j ve k köşe noktalarından birisine ilişkin [S1] ve [S2] matris elemanları elde edilir. Bu son iki bağıntının kullanılmasıyla bütün düğümler için, komşu oldukları her elemandan bir S1E(I, J) ve S2E(I, J) matris elemanı hesaplanır. Daha sonra bir düğüm için farklı üçgenlerden hesaplanan bu S1E(I, J) ve S2E(I, J) elemanları ait oldukları düğümlere göre birleştirilerek [S1] ve [S2] matrisleri elde edilir. Yani aynı düğüm için farklı üçgen elemanlardan elde edilmiş olan S1E(I, J) elemanları toplanarak [S1] matrisinin S1(I, J) elemanı, S2E(I, J) elemanları toplanarak da [S2] matrisinin S2(I, J) elemanı elde edilir. Daha sonra ait oldukları düğümler

dikkate alınarak $S1(I,J)$ lerden $[S1]$ matrisi, $S2(I,J)$ lerden ise $[S2]$ matrisi oluşturulur.

6.3. Denklem Sisteminin Çözümü

$[S1]$ ve $[S2]$ matrislerinin hesaplanmasıyla (6.3) denkleminde

$$SZ(I,J) = \frac{2\sigma \mu(H)}{\Delta t} \cdot S2(I,J) \quad (6.14)$$

ve

$$R1(I,J) = S1(I,J) + SZ(I,J) \quad (6.14)$$

$$R2(I,J) = SZ(I,J) - S1(I,J) \quad (6.15)$$

işlemleri yapılarak genel çözüm denklemi,

$$[R1] [H_{t+\Delta t}] = [R2] [H_t] \quad (6.16)$$

biçimine dönüştürülür. Bu son denklemde $[H_t]$ başlangıç koşullarını içeren vektör matris olup, sınır koşulu ile verilen I düğümlerine ilişkin $H_t(I,1)$ matris elemanı ile çözüm sonucunda elde edilecek olan aynı düğüme ilişkin $H_{t+\Delta t}(I,1)$ elemanları aynı olacak şekilde $R2(I,J)$ matris elemanları ayarlanıp,

$$[F_t] = [R2] * [H_t] \quad (6.17)$$

işlemi yapılarak (6.3) denklemi,

$$[S2] [H_{t+\Delta t}] = [F_t] \quad (6.18)$$

şekline dönüştürülür. Bu denklem bilinen denklem çözümü yöntemleri uygulanarak çözülür. Çözüme başlarken $[F_t]$ matrisi $t=t_0$ anındaki değerleri içeren başlangıç matrisi olarak alınarak $t=t_1$ anındaki $H_{t+\Delta t} = H_{t1}$ değerleri bulunur. Bir sonraki zaman adımı olan $t=t_2=t_1+\Delta t$ anındaki $H_{t2} = H_{t1+\Delta t}$

değeri hesaplanırken bir önceki zaman anında hesaplanan H_{t_1} değerleri $[F]$ matrisine $[F_{t_1}]$ olarak aktarılıp t_2 anı için başlangıç matrisi oluşturulur. Bu işlemler her zaman adımı için yinelenerek magnetik alan şiddetine ilişkin değerler zamanın fonksiyonu olarak elde edilir.

BÖLÜM 7. PROGRAM PAKETİNİN ÖZELLİKLERİ

7.1. Giriş

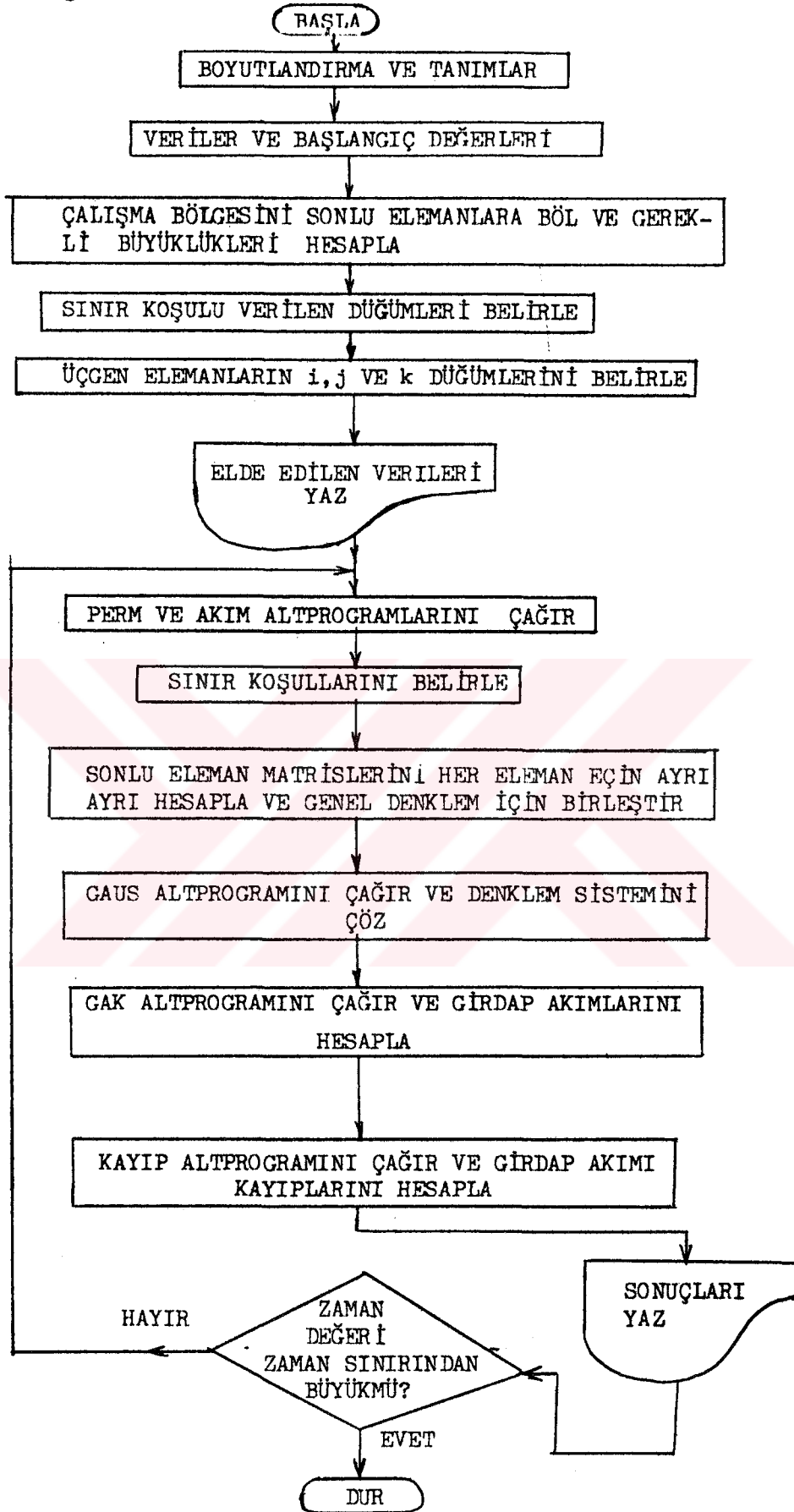
Bir önceki bölümde adı sıkça geçen programın açıklanıp, tanıtılması bu bölümde yapılacaktır. Programın özellikleri ana ve alt programlar için ayrı ayrı ele alınacak, anaprogramın akış diyagramı ise ayrıca verilecektir. Sonlu elemanlar yöntemiyle ilgili olarak bugüne kadar birçok program geliştirilip uygulanmıştır. Yararlı olacağı düşüncesiyle bu programlardan bazılarının bulunduğu referanslar, Zienkiewicz(1977), Norrie ve diğ.(1978), Silvester ve diğ.(1983), Aral(1974-1976) olarak verilebilir.

7.2. Ana Program

Gerek ana program, gerekse alt programların tümü Fortran IV programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır. Ana programın en büyük özelliği, sonlu eleman matrislerinin elde edildiği program olmasıdır. Ayrıca çalışma bölgesinin sonlu elemanlara bölünüp, eleman , düğüm, sınır koşulu verilen düğüm sayıları ve bu düğümlere ilişkin x-y koordinatları da bu program içerisinde belirlenmektedir. Programın bir diğer özelliği de alt programlar arasında bir köprü görevi yapmasıdır. Şöyle ki, bir alt programda kullanılacak olan değer, diğer bir alt programda hesaplanıyorsa, iki alt program arasındaki geçiş işlemi ana program üzerinden yapılmaktadır.

Bir kısmının hazırlanmasında Norrie ve diğ.(1978) referansından yararlanılmış olan bu ana programın akış diyagramı

aşağıdaki gibidir.



Şekil: 7.1. Anaprogramın akış diyagramı

7.3. Altprogramlar

AKIM ALTPROGRAMI : Bu altprogram kullanılarak, incelenen magnetik çekirdekte meydana gelen mıknatıslanma akımı hesaplanır. Veri olarak sargıya uygulanan gerilim, gerilimin frekansı, sargı direnci, sargı kaçak endüktansı, çekirdek uzunluğu, sarım sayısı ve çekirdek kesiti kullanılarak (2.45) denklemi Runge-Kutta yöntemiyle çözülür ve (2.40) da kullanılan i akım değerleri bulunur. Bulunan bu i akım değerleri anaprogram tarafından çağrılarak sınır koşullarının hesabında kullanılır. Bu altprogramda kullanılan 'Perh' değerleri ise bir başka altprogram olan PERM altprogramında hesaplanarak, anaprogram üzerinden bu altprograma aktarılır.

PERM ALTPROGRAMI : Bu program, H magnetik alan şiddetine bağlı olarak, mıknatıslanma eğrisinden yararlanıp, diferansiyel permeabiliteyi hesaplar. Şekil:2.1. de verilen mıknatıslanma eğrisinden exponansiyel seriler yöntemini kullanarak hesaplanan C katsayıları bu altprogramda veri olarak kullanılmaktadır. Bu katsayılar,

C1	0.6921	C4	0.00358	C7	0.0149
C2	0.0210	C5	0.5363	C8	0.00075228
C3	0.7669	C6	0.000233	C9	2.01654

olarak altprogramda kullanılır. Eğer başka bir eğri kullanılsaydı bu C değerleri de değişik olacaktı. Bölüm 5 de bu C katsayılarının elde edilişi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu altprogramda hesaplanan 'Perh' değerleri anaprograma aktarılır ve AKIM altprogramında kullanılarak mıknatıslanma akımı hesaplanır. Hesaplanan akım permeabiliteye bağlı olduğu için, bu akıma bağlı olarak hesaplanan magnetik alan şiddetleri de permeabiliteye bağlı olarak bulunmuş olur.

GAUS ALTPROGRAMI : Bu altprogramda doğrusal denklem takımının çözümü yapılmaktadır. Çözüm yöntemi olarak ise Gauss eleminasyon yöntemi kullanılmıştır. Başlangıç ve katsayı matrisleri bu altprograma aktarılarak, denklem takımı çözülür ve elde edilen magnetik alan değerleri anaprograma gönderilir.

GAK ALTPROGRAMI : Girdap akımlarının hesaplandığı altprogram olup, GAUS altprogramında hesaplanan magnetik alan şiddetleri ve geçerli oldukları düğümler, koordinatlarıyla birlikte bu altprograma aktarılarak, (4.36), (4.37) ve (4.40) bağıntılarına göre girdap akımları hesaplanır ve anaprograma gönderilir.

KAYIP ALTPROGRAMI : Girdap akımı kayıplarını (2.31) denkleminde hesaplayan altprogramdır. GAK altprogramında hesaplanıp anaprograma aktarılan girdap akımları, anaprogram tarafından tekrar bu altprograma gönderilir. Burada hesaplanan kayıplar ise anaprograma aktarılarak yazdırılır.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR

8.1.Sonuçların Değerlendirilmesi

Bölüm 2 de verilen genel çözüm denkleminin, Bölüm 3 ve bölüm 4 de açıklanan Galerkin yaklaşımına dayalı sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasıyla çözülmesi sonucunda elde edilen sonuçlar burada verilmiştir. Girdap akımı kayıpları hesaplanacak olan levhanın direnci 3.2×10^{-6} Ohm.mm, kalınlığı 0.1 mm, genişliği 10 mm.ve uzunluğu da 100 mm. olarak alınmış, demir çekirdekte bu levhadan 100 adet bulunduğu kabul edilmiştir. Ayrıca bobinin 400 sarımlı olduğu ve 50 Hz. lik frekansa sahip olan 220 V. luk bir gerilim uygulandığı gözönüne alınmıştır.

Bilgisayarla çözüm yapılırken levha kalınlığı ile genişliği arasındaki oransızlık nedeniyle çalışma bölgesi olarak levha genişliği kalınlığın on katı olarak alınmıştır. Aslında genişlik kalınlığın yüz katıdır. Fakat gerek simetrik olma, gerekse magnetik alanın çekirdek uçlarında daha fazla değişime uğradığı düşüncesiyle, Burais ve diğ.(1982), burada genişlik olarak kalınlığın on katı alınmıştır. Burais ve diğ.(1982) makalelerinde genişliği kalınlığın üç katı olarak almışlardır.

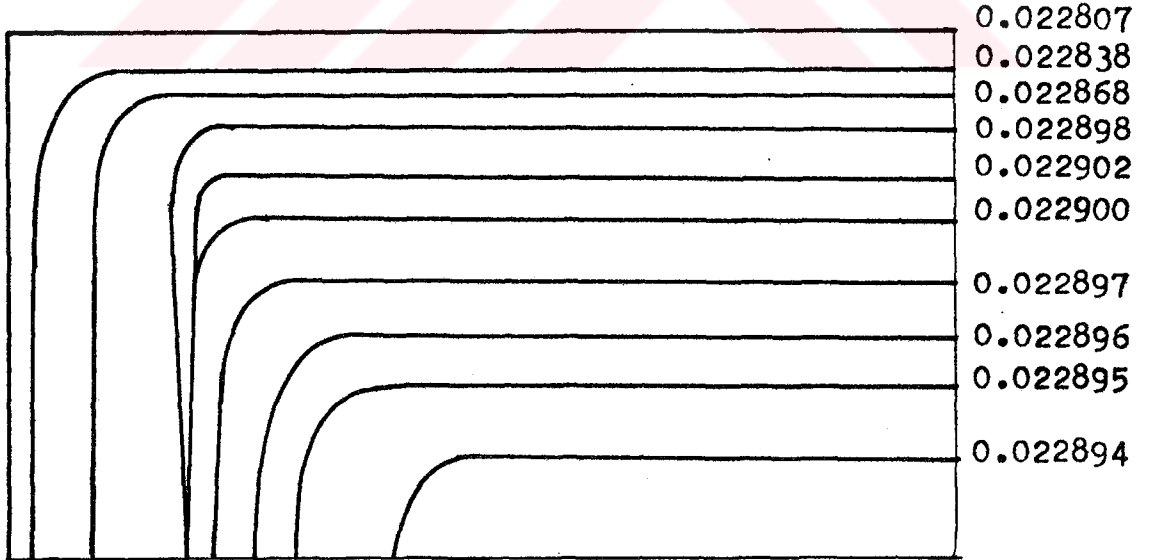
Geliştirilen programın kullanılması sonucu elde edilen çözüme ilişkin sonuç çıktısı(listesi) bu bölümün sonunda verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan yararlanılarak çizilen başlangıçtan 0.00011 saniye sonraki eş magnetik alan çizgileri Şekil:8.1. de, 0.00060 saniye sonraki eş magnetik alan

çizgileri ise Şekil:8.3. de verilmiştir. Bu şekillerin daha önce yapılmış olan benzeri çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre çizilmiş bulunan şekillerle karşılaştırıldıklarında, büyük ölçüde benzer oldukları gözlenmiştir. Daha önce yapılmış benzeri çalışmalardan bazıları, Burais ve diğ. (1982), Vecchio(1982) ve Stanbury(1985) olarak verilebilir. Yine bu sonuçlardan yararlanılarak çizilen girdap akımı vektörleri Şekil:8.2 de, girdap akımı kayıplarının zamanla değişimi ise Şekil:8.4. de verilmiştir. Şekil:8.2 de verilen girdap akımı vektörlerinin büyüklükleri ve yönleri girdap akımının o noktalardaki x ve y yönlerindeki bileşenlerinin yön ve büyüklükleri dikkate alınarak çizilmiştir. Kayıpların zamanla değişiminin gösterildiği Şekil:8.4. incelenecek olursa kayıpların başlangıçta yüksek olduğu, daha sonra azalarak belirli bir süreden sonra kararlı hale geçtiği görülmektedir. Geçici durum sona erince yaklaşık 0.002 W gibi bir değerde kayıplar sabit kalmakta, sürekli çalışmada yaklaşık olarak bu değer dolaylarında güç kayıpları meydana gelmektedir. Bu 0.002 W lık kayıp, ele alınan levhanın 0.05 mm. kalınlığı ile 0.1 mm. lik genişliği olan kısmında hesaplanan kayıptır. Bütün levha çalışma bölgesinin 20 katı olduğundan, levhanın tamamında meydana gelen kayıplar $0.002 \times 20 = 0.04$ W. tır. Levhanın toplam hacmi $0.1 \times 10 \times 100 = 100 \text{ mm}^3$ olduğundan, bu kayıp aynı zamanda 100 mm^3 lük hacimdeki kayıplardır.

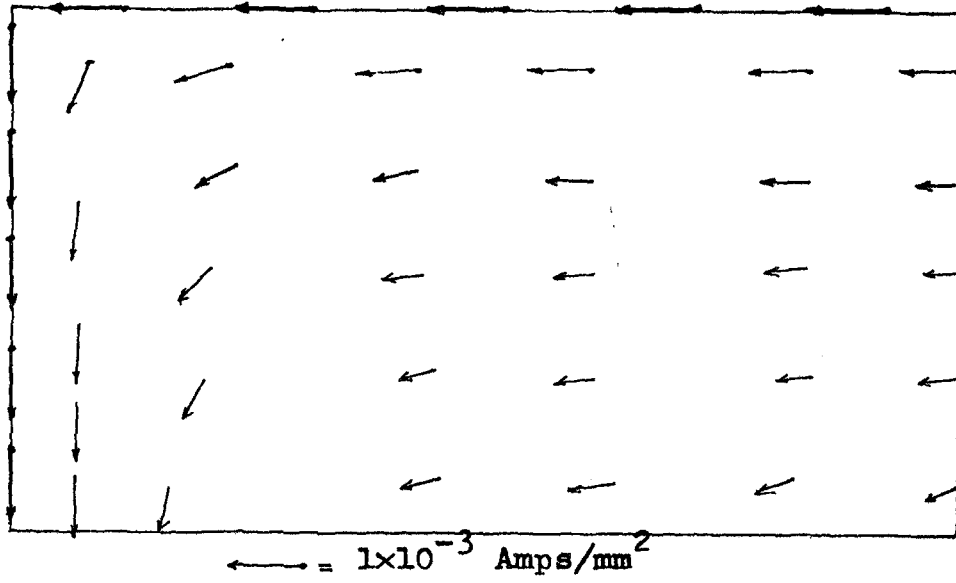
Bu kayıplar, Vacuumschmelze GMBH firmasınca DIN41302 standardına göre üretilen E32 çekirdek tipi levhanın kayıpları ile karşılaştırılmıştır. Bu levha tipinin 0.1 mm. lik kalınlığında 100 adedinin ağırlığı yaklaşık 0.6 kg. olup (Boll,1979,s.164) birtanesinin ağırlığı 0.006 kg. dır. Karşılaştırma yapılacak olan bu levhanın hacmi 67.584 mm^3

olduğundan sözkonusu levhanın 67.584 mm^3 lük hacminin ağırlığı 0.006 kg . olarak alınabilir.

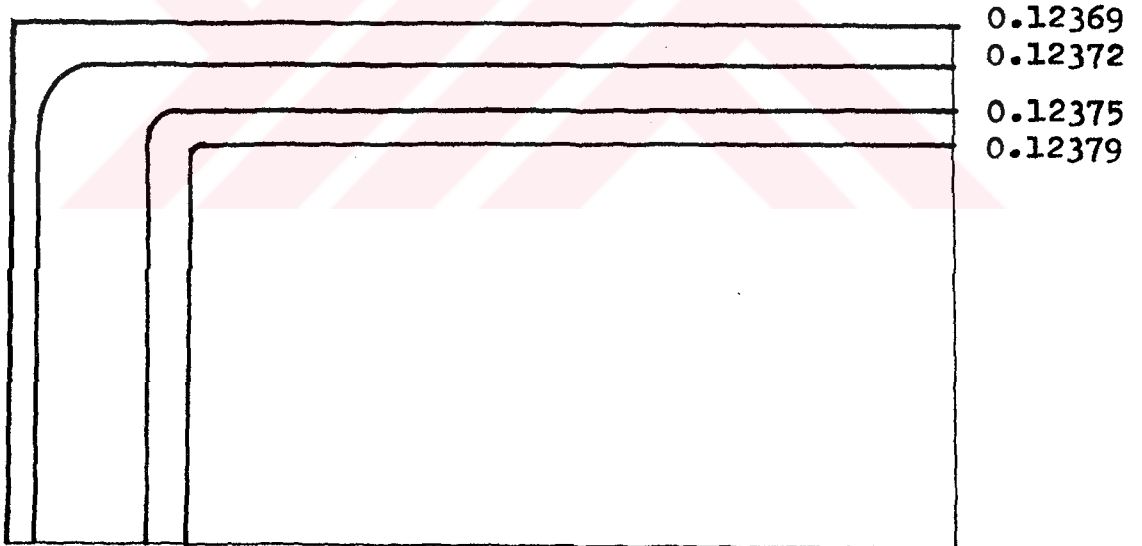
Girdap akımı kayıpları hesaplanan levha ile bu DIN41302 tipi levhanın özellikleri birbirine oldukça yakın olup, karşılaştırma levhasının 67.584 mm^3 lük hacmi 0.006 kg olduğuna göre, kayıpları hesaplanan ve hacmi 100 mm^3 olan levhanın bu hacminin ağırlığı 0.00889 kg olur. Buna göre 0.00889 kg . lık levhada meydana gelen kayıplar 0.04 W olduğundan 1 kg . lık levhada meydana gelen kayıplar 4.5 W . olur. Böylece kayıpları hesaplanan levhada kg . başına 4.5 W/kg olarak kayıplar elde edilir. Karşılaştırma yapılan levhada meydana gelen kayıplar ise, 1 W/kg ile 12 W/kg arasında değişmektedir. Burada karşılaştırılan iki levhanın alaşım ve boyutları birbirlerine çok yakın değerlere sahiptir. Ancak her iki levhanın B-H karakteristeklerindeki küçük farklılıklar nedeniyle kayıplar arasında azda olsa bazı farklılıklar olabilir. Ancak hesaplanan kayıplar hakkında bir fikir edinilmesi amacıyla bu karşılaştırma yapılmıştır.



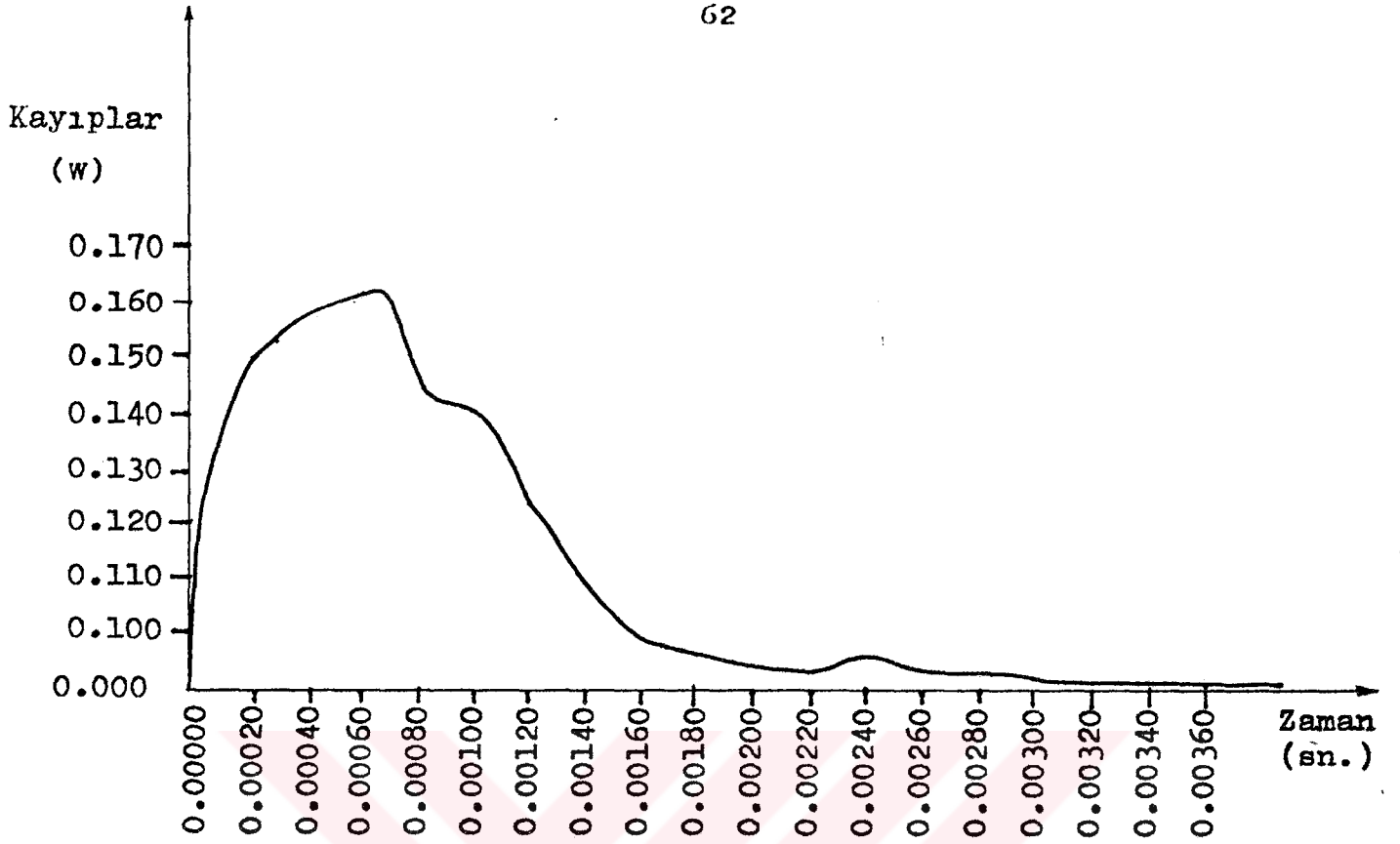
Şekil:8.1. Başlangıçtan 0.0011 saniye sonra levhanın $0.05 \times 0.5 \text{ mm}^2$ lik bölümündeki eş magnetik alan çizgileri. (A/m)



Şekil:8.2. Başlangıçtan 0,00060 saniye sonra levhanın $0,05 \times 0,5 \text{ mm}^2$ lik bölümündeki akım dağılım vektörleri.



Şekil:8.3. Başlangıçtan 0,00060 saniye sonra levhanın $0,05 \times 0,5 \text{ mm}^2$ lik bölümündeki eş magnetik alan çizgileri. (A/m)



Şekil:8.4. Levhanın $0.05 \times 0.1 \times 100 \text{ mm}^3$ lük kısmındaki kayıplar

8.2. İleride Yapılabilecek Çalışmalar

Burada geliştirilen programla, elektrik makinalarında kullanılan çekirdeklerde meydana gelen kayıplar üretim öncesinden belirlenebilmektedir. Kullanılan program ve algoritma ile malzeme içerisindeki her noktada meydana gelen magnetik alan şiddetleri ve buna bağlı olarakta girdap akımları hesaplandığına göre, bu büyüklüklere bağlı olarak başka büyüklükler de hesaplanabilir. Örneğin yapılacak eklerle hennoktadaki güç kaybı yoğunluğu, magnetik indüksiyonun çekirdek içindeki etki derinliği belirlenebilir.

Transformatör çekirdeklerinde çekirdek köşelerinde magnetik alanda değişiklikler olması nedeniyle klasik hesap

yöntemlerinde bu değişikliklerin hesaba katılması zor olmaktadır. Fakat sonlu elemanlar yöntemi uygulanarak çekirdeğin her tarafındaki alan şiddetleri ve magnetik akı dağılımları hesaplanabilir.

Ayrıca büyük güçlü transformatörlerde, magnetik indüksiyonun çekirdek dışına taşıp, kazanda girdap akımları meydana getirerek kayıplara neden olmasını önlemek için kullanılan magnetik şöntlerdeki alan şiddetleri, magnetik akı dağılımları ve demir kayıpları da sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanabilir.

Burada izotropik malzeme için hesaplanan kayıplar, izotropik olmayan malzemeler için de hesaplanabilir.

Yukarda belirtilen yeni çalışmalar ileride yapılabilir. Yukarıda belirtilen yeni çalışmalar olup, sonlu elemanlar metodunun uygulanabileceği problemlerden sadece birkaçıdır. Bunların dışında analitik olarak çözülmesi güç olan daha birçok problem sonlu elemanlar yöntemiyle çözülebilir.

İLE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

TOPLAM DÜĞÜM SAYISI= 36

TOPLAM ELEMAN SAYISI= 50

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜM SAYISI= 11

DÜĞÜMLERİN X VE Y KOORDİNATLARI

DÜĞÜM	X	Y	DÜĞÜM	X	Y	DÜĞÜM	X	Y
1	0.00	0.00	2	0.10	0.00	3	0.20	0.00
4	0.30	0.00	5	0.40	0.00	6	0.50	0.00
7	0.00	0.01	8	0.10	0.01	9	0.20	0.01
10	0.30	0.01	11	0.40	0.01	12	0.50	0.01
13	0.00	0.02	14	0.10	0.02	15	0.20	0.02
16	0.30	0.02	17	0.40	0.02	18	0.50	0.02
19	0.00	0.03	20	0.10	0.03	21	0.20	0.03
22	0.30	0.03	23	0.40	0.03	24	0.50	0.03
25	0.00	0.04	26	0.10	0.04	27	0.20	0.04
28	0.30	0.04	29	0.40	0.04	30	0.50	0.04
31	0.00	0.05	32	0.10	0.05	33	0.20	0.05
34	0.30	0.05	35	0.40	0.05	36	0.50	0.05

ELEMANLAR VE DÜĞÜMLERİ

ELEMAN	I	J	K	ELEMAN	I	J	K	ELEMAN	I	J	K
1	1	8	7	2	1	2	9	3	2	9	8
4	2	3	9	5	3	10	9	6	3	4	10
7	4	11	10	8	4	5	11	9	5	12	11
10	5	6	12	11	7	14	13	12	7	8	14
13	8	15	14	14	8	9	15	15	9	16	15
16	9	10	16	17	10	17	16	18	10	11	17
19	11	18	17	20	11	12	18	21	13	20	19
22	13	14	20	23	14	21	20	24	14	15	21
25	15	22	21	26	15	15	22	27	16	23	22
28	16	17	23	29	17	24	23	30	17	18	24
31	19	26	25	32	19	20	26	33	20	27	26
34	20	21	27	35	21	28	27	36	21	22	28
37	22	29	28	38	22	23	29	39	23	30	29
40	23	24	30	41	25	32	31	42	25	26	32
43	26	33	32	44	26	27	33	45	27	34	33
46	27	28	34	47	28	35	34	48	28	29	35
49	29	36	35	50	29	30	36				

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ

ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.
0.00000	1	0.00000E+00	0.0000	7	0.00000E+00
0.00000	13	0.00000E+00	0.0000	19	0.00000E+00
0.00000	25	0.00000E+00	0.0000	31	0.00000E+00
0.00000	32	0.00000E+00	0.0000	33	0.00000E+00
0.00000	34	0.00000E+00	0.0000	35	0.00000E+00
0.00000	36	0.00000E+00			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ

DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ
1	0.00000E+00	2	0.00000E+00	3	0.00000E+00
4	0.00000E+00	5	0.00000E+00	6	0.00000E+00
7	0.00000E+00	8	0.00000E+00	9	0.00000E+00
10	0.00000E+00	11	0.00000E+00	12	0.00000E+00
13	0.00000E+00	14	0.00000E+00	15	0.00000E+00
16	0.00000E+00	17	0.00000E+00	18	0.00000E+00
19	0.00000E+00	20	0.00000E+00	21	0.00000E+00
22	0.00000E+00	23	0.00000E+00	24	0.00000E+00
25	0.00000E+00	26	0.00000E+00	27	0.00000E+00
28	0.00000E+00	29	0.00000E+00	30	0.00000E+00
31	0.00000E+00	32	0.00000E+00	33	0.00000E+00
34	0.00000E+00	35	0.00000E+00	36	0.00000E+00

AN NO GİRDAP AKIMI KAYIPLARI ZAMAN NO KAYIP YÜĞÜNLÜĞÜ

ILE: FEM

SONUC

AI KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

TOPLAM KAYIP= 0.00000E+00 WATT

SINIR ZAMAN	KOSULU DUGUM	VERİLEN FONK.DEG.	DUGUMLER VE FONKSİYONUN ZAMAN	BU DUGUMLERDEKİ FONK.DEG.	DEĞERİ
0.00001	1	0.20739E-02	0.0000	7	0.20739E-02
0.00001	13	0.20739E-02	0.0000	19	0.20739E-02
0.00001	25	0.20739E-02	0.0000	31	0.20739E-02
0.00001	32	0.20739E-02	0.0000	33	0.20739E-02
0.00001	34	0.20739E-02	0.0000	35	0.20739E-02
0.00001	36	0.20739E-02			

DUGUMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ	DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ	DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ	DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ
1	0.20739E-02	2	0.20211E-02
4	0.19639E-02	5	0.19625E-02
7	0.20739E-02	9	0.20272E-02
10	0.19713E-02	11	0.19707E-02
13	0.20739E-02	14	0.20443E-02
16	0.19948E-02	17	0.19960E-02
19	0.20739E-02	20	0.20859E-02
22	0.20463E-02	23	0.20478E-02
25	0.20739E-02	26	0.21189E-02
28	0.20996E-02	29	0.20999E-02
31	0.20739E-02	32	0.20739E-02
34	0.20739E-02	35	0.20739E-02

ELEMAN ZAMAN	MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ	MERKEZ NOKTADAKİ MAG. ALAN.	ELEMAN ZAMAN	MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ	MERKEZ NOKTADAKİ MAG. ALAN.
0.00001	1	0.03 0.01 0.20583E-02	0.00001	2	0.07 0.00 0.20407E-02
0.00001	3	0.13 0.01 0.20386E-02	0.00001	4	0.17 0.00 0.19894E-02
0.00001	5	0.23 0.01 0.19728E-02	0.00001	6	0.27 0.00 0.19682E-02
0.00001	7	0.33 0.01 0.19636E-02	0.00001	8	0.37 0.00 0.19657E-02
0.00001	9	0.43 0.01 0.19708E-02	0.00001	10	0.47 0.00 0.19717E-02
0.00001	11	0.03 0.02 0.20640E-02	0.00001	12	0.07 0.01 0.20485E-02
0.00001	13	0.13 0.02 0.20239E-02	0.00001	14	0.17 0.01 0.20016E-02
0.00001	15	0.23 0.02 0.19908E-02	0.00001	16	0.27 0.01 0.19812E-02
0.00001	17	0.33 0.02 0.19874E-02	0.00001	18	0.37 0.01 0.19793E-02
0.00001	19	0.43 0.02 0.19393E-02	0.00001	20	0.47 0.01 0.19842E-02
0.00001	21	0.03 0.03 0.20779E-02	0.00001	22	0.07 0.02 0.20680E-02
0.00001	23	0.13 0.03 0.20599E-02	0.00001	24	0.17 0.02 0.20313E-02
0.00001	25	0.23 0.03 0.20320E-02	0.00001	26	0.27 0.02 0.20138E-02
0.00001	27	0.33 0.03 0.20297E-02	0.00001	28	0.37 0.02 0.20129E-02
0.00001	29	0.43 0.03 0.20299E-02	0.00001	30	0.47 0.02 0.20148E-02
0.00001	31	0.03 0.04 0.20889E-02	0.00001	32	0.07 0.03 0.20929E-02
0.00001	33	0.13 0.04 0.21022E-02	0.00001	34	0.17 0.03 0.20791E-02
0.00001	35	0.23 0.04 0.20836E-02	0.00001	36	0.27 0.03 0.20651E-02
0.00001	37	0.33 0.04 0.20819E-02	0.00001	38	0.37 0.03 0.20647E-02
0.00001	39	0.43 0.04 0.20822E-02	0.00001	40	0.47 0.03 0.20641E-02
0.00001	41	0.03 0.05 0.20739E-02	0.00001	42	0.07 0.04 0.20889E-02
0.00001	43	0.13 0.05 0.20339E-02	0.00001	44	0.17 0.04 0.20982E-02
0.00001	45	0.23 0.05 0.20312E-02	0.00001	46	0.27 0.04 0.20918E-02
0.00001	47	0.33 0.05 0.20824E-02	0.00001	48	0.37 0.04 0.20911E-02
0.00001	49	0.43 0.05 0.20825E-02	0.00001	50	0.47 0.04 0.20908E-02

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00001	1	0.00000E+00	-0.52777E-03	0.27857E-06
0.00001	2	0.00000E+00	-0.51511E-03	0.26557E-06
0.00001	3	0.00000E+00	-0.56848E-04	0.32317E-08
0.00001	4	0.00000E+00	-0.13325E-04	0.17755E-09
0.00001	5	0.00000E+00	-0.10565E-03	0.11375E-07
0.00001	6	0.61176E-03	-0.45552E-03	0.59199E-06
0.00001	7	0.17100E-02	-0.49790E-03	0.31721E-05
0.00001	8	0.41586E-02	-0.51133E-04	0.17298E-04
0.00001	9	0.33047E-02	-0.61397E-05	0.10921E-04
0.00001	10	-0.45071E-02	-0.85479E-04	0.20321E-04

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00001	11	0.78611E-03	-0.29552E-03	0.70535E-06
0.00001	12	0.22778E-02	-0.44112E-03	0.53829E-05
0.00001	13	0.49341E-02	-0.53609E-04	0.24348E-04
0.00001	14	0.52297E-02	0.11716E-04	0.27350E-04
0.00001	15	-0.27965E-02	0.55014E-04	0.78245E-05
0.00001	16	0.74275E-03	0.12024E-03	0.56614E-06
0.00001	17	0.23535E-02	-0.36357E-03	0.56712E-05
0.00001	18	0.51501E-02	-0.32014E-04	0.26524E-04
0.00001	19	0.53240E-02	0.14373E-04	0.28345E-04
0.00001	20	-0.25706E-02	-0.20443E-04	0.66082E-05
0.00001	21	0.81460E-03	0.45071E-03	0.86672E-06
0.00001	22	0.25321E-02	-0.17106E-03	0.64407E-05
0.00001	23	0.51817E-02	-0.22589E-04	0.26850E-04
0.00001	24	0.52090E-02	0.33760E-05	0.27133E-04
0.00001	25	-0.26043E-02	-0.11493E-04	0.67827E-05
0.00001	26	0.60285E-03	0.00000E+00	0.36342E-06
0.00001	27	0.23374E-02	0.00000E+00	0.54636E-05
0.00001	28	0.43171E-02	0.00000E+00	0.18638E-04
0.00001	29	0.52985E-02	0.00000E+00	0.28074E-04
0.00001	30	-0.24894E-02	0.00000E+00	0.61971E-05

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI					
ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUGU	ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUGU
0.00001	1	0.24249857E-05	0.00001	2	0.22039558E-06
0.00001	3	0.32636907E-10	0.00001	4	0.98515814E-13
0.00001	5	0.40436743E-09	0.00001	6	0.10951471E-05
0.00001	7	0.31444171E-04	0.00001	8	0.93501806E-03
0.00001	9	0.37269993E-03	0.00001	10	0.12904631E-02
0.00001	11	0.15547512E-05	0.00001	12	0.90548128E-04
0.00001	13	0.18526446E-02	0.00001	14	0.23375980E-02
0.00001	15	0.19132336E-03	0.00001	16	0.10016083E-05
0.00001	17	0.10050953E-03	0.00001	18	0.21985502E-02
0.00001	19	0.25107339E-02	0.00001	20	0.13646481E-03
0.00001	21	0.23475059E-05	0.00001	22	0.12963283E-03
0.00001	23	0.22529557E-02	0.00001	24	0.23006641E-02
0.00001	25	0.14376368E-03	0.00001	26	0.41273626E-06
0.00001	27	0.93283990E-04	0.00001	28	0.10854900E-02
0.00001	29	0.24629054E-02	0.00001	30	0.12001352E-03

TOPLAN KAYIP= 0.20603E-01 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.
0.00002	1	0.41477E-02	0.0000	7	0.41477E-02
0.00002	13	0.41477E-02	0.0000	19	0.41477E-02
0.00002	25	0.41477E-02	0.0000	31	0.41477E-02
0.00002	32	0.41477E-02	0.0000	33	0.41477E-02
0.00002	34	0.41477E-02	0.0000	35	0.41477E-02
0.00002	36	0.41477E-02			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ					
DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ					
1	0.41477E-02	2	0.41761E-02	3	0.41518E-02
4	0.41502E-02	5	0.41492E-02	6	0.41542E-02
7	0.41477E-02	8	0.41790E-02	9	0.41559E-02
10	0.41535E-02	11	0.41528E-02	12	0.41572E-02
13	0.41477E-02	14	0.41853E-02	15	0.41653E-02
16	0.41629E-02	17	0.41639E-02	18	0.41682E-02
19	0.41477E-02	20	0.42093E-02	21	0.41912E-02
22	0.41903E-02	23	0.41916E-02	24	0.41889E-02
25	0.41477E-02	26	0.42211E-02	27	0.42137E-02
28	0.42128E-02	29	0.42130E-02	30	0.42119E-02
31	0.41477E-02	32	0.41477E-02	33	0.41477E-02
34	0.41477E-02	35	0.41477E-02	36	0.41477E-02

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
MERKEZ NOKTADAKİ					MERKEZ NOKTADAKİ				
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00002	1	0.03	0.01	0.41581E-02	0.00002	2	0.07	0.00	0.41676E-02
0.00002	3	0.13	0.01	0.41703E-02	0.00002	4	0.17	0.00	0.41613E-02

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.000002	5	0.23	0.01	0.41537E-02	0.000002	6	0.27	0.00	0.41519E-02
0.000002	7	0.33	0.01	0.41522E-02	0.000002	8	0.37	0.00	0.41508E-02
0.000002	9	0.43	0.01	0.41531E-02	0.000002	10	0.47	0.00	0.41535E-02
0.000002	11	0.03	0.02	0.41502E-02	0.000002	12	0.07	0.01	0.41707E-02
0.000002	13	0.13	0.02	0.41766E-02	0.000002	14	0.17	0.01	0.41667E-02
0.000002	15	0.23	0.02	0.41614E-02	0.000002	16	0.27	0.01	0.41574E-02
0.000002	17	0.33	0.02	0.41631E-02	0.000002	18	0.37	0.01	0.41567E-02
0.000002	19	0.43	0.02	0.41617E-02	0.000002	20	0.47	0.01	0.41594E-02
0.000002	21	0.03	0.03	0.41682E-02	0.000002	22	0.07	0.02	0.41808E-02
0.000002	23	0.13	0.03	0.41953E-02	0.000002	24	0.17	0.02	0.41806E-02
0.000002	25	0.23	0.03	0.41823E-02	0.000002	26	0.27	0.02	0.41729E-02
0.000002	27	0.33	0.03	0.41816E-02	0.000002	28	0.37	0.02	0.41728E-02
0.000002	29	0.43	0.03	0.41315E-02	0.000002	30	0.47	0.02	0.41737E-02
0.000002	31	0.03	0.04	0.41722E-02	0.000002	32	0.07	0.03	0.41927E-02
0.000002	33	0.13	0.04	0.42147E-02	0.000002	34	0.17	0.03	0.42048E-02
0.000002	35	0.23	0.04	0.42059E-02	0.000002	36	0.27	0.03	0.41981E-02
0.000002	37	0.33	0.04	0.42054E-02	0.000002	38	0.37	0.03	0.41983E-02
0.000002	39	0.43	0.04	0.42055E-02	0.000002	40	0.47	0.03	0.41975E-02
0.000002	41	0.03	0.05	0.41477E-02	0.000002	42	0.07	0.04	0.41722E-02
0.000002	43	0.13	0.05	0.41722E-02	0.000002	44	0.17	0.04	0.41942E-02
0.000002	45	0.23	0.05	0.41317E-02	0.000002	46	0.27	0.04	0.41914E-02
0.000002	47	0.33	0.05	0.41534E-02	0.000002	48	0.37	0.04	0.41912E-02
0.000002	49	0.43	0.05	0.41694E-02	0.000002	50	0.47	0.04	0.41909E-02

GİR DAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.000002	1	0.00000E+00	0.28428E-03	0.80813E-07
0.000002	2	0.00000E+00	-0.24253E-03	0.58850E-07
0.000002	3	0.00000E+00	-0.16055E-04	0.25780E-09
0.000002	4	0.00000E+00	-0.10543E-04	0.11115E-09
0.000002	5	0.00000E+00	0.49844E-04	0.24845E-08
0.000002	6	0.28647E-03	0.31292E-03	0.17999E-06
0.000002	7	0.63479E-03	-0.23085E-03	0.45625E-06
0.000002	8	0.24002E-02	-0.24214E-04	0.57616E-05
0.000002	9	0.11783E-02	-0.62957E-05	0.13885E-05
0.000002	10	-0.73425E-02	0.43650E-04	0.53915E-04
0.000002	11	0.40382E-03	0.37640E-03	0.30475E-06
0.000002	12	0.94362E-03	-0.19997E-03	0.93040E-06
0.000002	13	0.25924E-02	-0.24512E-04	0.67213E-05
0.000002	14	0.22486E-02	0.10282E-04	0.50562E-05
0.000002	15	-0.66053E-02	0.43213E-04	0.43632E-04
0.000002	16	0.32224E-03	0.61642E-03	0.48382E-06
0.000002	17	0.94064E-03	-0.18075E-03	0.91747E-06
0.000002	18	0.27407E-02	-0.96353E-05	0.75115E-05
0.000002	19	0.22516E-02	0.13635E-04	0.50697E-05
0.000002	20	-0.65114E-02	-0.27269E-04	0.42400E-04
0.000002	21	0.36471E-03	0.73425E-03	0.67214E-06
0.000002	22	0.11064E-02	-0.73724E-04	0.12296E-05
0.000002	23	0.27742E-02	-0.93877E-05	0.76964E-05
0.000002	24	0.21324E-02	0.17136E-05	0.45469E-05
0.000002	25	-0.65286E-02	-0.10394E-04	0.42622E-04
0.000002	26	0.30287E-03	0.00000E+00	0.91728E-07
0.000002	27	0.11019E-02	0.00000E+00	0.12143E-05
0.000002	28	0.20694E-02	0.00000E+00	0.42824E-05
0.000002	29	0.23011E-02	0.00000E+00	0.52951E-05
0.000002	30	-0.64245E-02	0.00000E+00	0.41276E-04

GİR DAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU
0.000002	1	0.20408716E-07	0.000002	2	0.10823019E-07
0.000002	3	0.20768207E-12	0.000002	4	0.38604391E-13
0.000002	5	0.19289251E-10	0.000002	6	0.10123813E-06
0.000002	7	0.65051887E-05	0.000002	8	0.10373646E-03
0.000002	9	0.60243692E-05	0.000002	10	0.90837963E-02
0.000002	11	0.29022897E-06	0.000002	12	0.27051410E-05
0.000002	13	0.14117430E-03	0.000002	14	0.79892416E-04
0.000002	15	0.59492253E-02	0.000002	16	0.73149118E-06
0.000002	17	0.26304524E-05	0.000002	18	0.17632118E-03
0.000002	19	0.80319354E-04	0.000002	20	0.56178719E-02
0.000002	21	0.14117904E-05	0.000002	22	0.47245840E-05
0.000002	23	0.19510825E-03	0.000002	24	0.64608466E-04
0.000002	25	0.56770742E-02	0.000002	26	0.26293716E-07
0.000002	27	0.46076857E-05	0.000002	28	0.57309531E-04

ILE: FEM

SONUC

AI

KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00002 29 0.87619555E-04 0.00002 30 0.53240694E-02

TOPLAM KAYIP= 0.32657E-01 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DUGUMLAR VE FONKSİYONUN	BU DUGUMLERDEKİ DEĞERİ
ZAMAN DUGUM FONK. DEĞ.	ZAMAN DUGUM FONK. DEĞ.
0.00003 1 0.62215E-02	0.0000 7 0.62215E-02
0.00003 13 0.62215E-02	0.0000 19 0.62215E-02
0.00003 25 0.62215E-02	0.0000 31 0.62215E-02
0.00003 32 0.62215E-02	0.0000 33 0.62215E-02
0.00003 34 0.62215E-02	0.0000 35 0.62215E-02
0.00003 36 0.62215E-02	

DUGUMLARDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ
DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ

1 0.62215E-02	2 0.62752E-02	3 0.62590E-02
4 0.62583E-02	5 0.62574E-02	6 0.62605E-02
7 0.62215E-02	8 0.62772E-02	9 0.62620E-02
10 0.62604E-02	11 0.62597E-02	12 0.62626E-02
13 0.62215E-02	14 0.62802E-02	15 0.62675E-02
16 0.62556E-02	17 0.62665E-02	18 0.62700E-02
19 0.62215E-02	20 0.62935E-02	21 0.62860E-02
22 0.62355E-02	23 0.62868E-02	24 0.62839E-02
25 0.62215E-02	26 0.63040E-02	27 0.62995E-02
28 0.62789E-02	29 0.62990E-02	30 0.62980E-02
31 0.62215E-02	32 0.62215E-02	33 0.62215E-02
34 0.62215E-02	35 0.62215E-02	36 0.62215E-02

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

MERKEZ NOKTADAKİ

ZAMAN ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00003 1	0.03	0.01	0.62401E-02	0.00003 2	0.07	0.00	0.62580E-02
0.00003 3	0.13	0.01	0.62713E-02	0.00003 4	0.17	0.00	0.62654E-02
0.00003 5	0.23	0.01	0.62605E-02	0.00003 6	0.27	0.00	0.62593E-02
0.00003 7	0.33	0.01	0.62595E-02	0.00003 8	0.37	0.00	0.62585E-02
0.00003 9	0.43	0.01	0.62599E-02	0.00003 10	0.47	0.00	0.62602E-02
0.00003 11	0.03	0.02	0.62411E-02	0.00003 12	0.07	0.01	0.62597E-02
0.00003 13	0.13	0.02	0.62750E-02	0.00003 14	0.17	0.01	0.62689E-02
0.00003 15	0.23	0.02	0.62651E-02	0.00003 16	0.27	0.01	0.62627E-02
0.00003 17	0.33	0.02	0.62642E-02	0.00003 18	0.37	0.01	0.62623E-02
0.00003 19	0.43	0.02	0.62655E-02	0.00003 20	0.47	0.01	0.62642E-02
0.00003 21	0.03	0.03	0.62472E-02	0.00003 22	0.07	0.02	0.62668E-02
0.00003 23	0.13	0.03	0.62883E-02	0.00003 24	0.17	0.02	0.62779E-02
0.00003 25	0.23	0.03	0.62797E-02	0.00003 26	0.27	0.02	0.62729E-02
0.00003 27	0.33	0.03	0.62793E-02	0.00003 28	0.37	0.02	0.62730E-02
0.00003 29	0.43	0.03	0.62791E-02	0.00003 30	0.47	0.02	0.62735E-02
0.00003 31	0.03	0.04	0.62490E-02	0.00003 32	0.07	0.03	0.62747E-02
0.00003 33	0.13	0.04	0.62397E-02	0.00003 34	0.17	0.03	0.62947E-02
0.00003 35	0.23	0.04	0.62948E-02	0.00003 36	0.27	0.03	0.62902E-02
0.00003 37	0.33	0.04	0.62945E-02	0.00003 38	0.37	0.03	0.62904E-02
0.00003 39	0.43	0.04	0.62946E-02	0.00003 40	0.47	0.03	0.62896E-02
0.00003 41	0.03	0.05	0.62215E-02	0.00003 42	0.07	0.04	0.52490E-02
0.00003 43	0.13	0.05	0.62490E-02	0.00003 44	0.17	0.04	0.62750E-02
0.00003 45	0.23	0.05	0.62475E-02	0.00003 46	0.27	0.04	0.62733E-02
0.00003 47	0.33	0.05	0.62473E-02	0.00003 48	0.37	0.04	0.62731E-02
0.00003 49	0.43	0.05	0.62473E-02	0.00003 50	0.47	0.04	0.62728E-02

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLESKE AKIM
0.00003 1	1	0.00000E+00	0.53734E-03	0.28873E-06
0.00003 2	2	0.00000E+00	-0.16190E-03	0.26212E-07
0.00003 3	3	0.00000E+00	-0.66310E-05	0.43970E-10
0.00003 4	4	0.00000E+00	-0.94995E-05	0.90240E-10
0.00003 5	5	0.00000E+00	0.31059E-04	0.96528E-09
0.00003 6	6	0.20005E-03	0.55734E-03	0.35065E-06
0.00003 7	7	0.30398E-03	-0.15169E-03	0.11542E-06
0.00003 8	8	0.18343E-02	-0.15944E-04	0.33650E-05
0.00003 9	9	0.54389E-03	-0.70781E-05	0.29587E-06
0.00003 10	10	-0.82556E-02	-0.29205E-04	0.68156E-04

FILE: FEM

SONUC

A1

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00003	11	0.30212E-03	0.58774E-03	0.43671E-06
0.00003	12	0.54650E-03	-0.12744E-03	0.31490E-06
0.00003	13	0.18537E-02	-0.18837E-04	0.34366E-05
0.00003	14	0.13486E-02	0.90152E-05	0.18187E-05
0.00003	15	-0.78052E-02	0.35241E-04	0.60923E-04
0.00003	16	0.20899E-03	0.77117E-03	0.63838E-06
0.00003	17	0.51707E-03	-0.12551E-03	0.28311E-06
0.00003	18	0.19904E-02	-0.52154E-05	0.39618E-05
0.00003	19	0.13370E-02	0.12815E-04	0.17878E-05
0.00003	20	-0.77415E-02	-0.29244E-04	0.59932E-04
0.00003	21	0.23320E-03	0.82556E-03	0.73594E-06
0.00003	22	0.67800E-03	-0.45039E-04	0.46172E-06
0.00003	23	0.20284E-02	-0.63702E-05	0.41145E-05
0.00003	24	0.12171E-02	0.81956E-06	0.14812E-05
0.00003	25	-0.77497E-02	-0.99833E-05	0.60058E-04
0.00003	26	0.21458E-03	0.00000E+00	0.46043E-07
0.00003	27	0.73835E-03	0.00000E+00	0.54516E-06
0.00003	28	0.13836E-02	0.00000E+00	0.19143E-05
0.00003	29	0.14097E-02	0.00000E+00	0.19871E-05
0.00003	30	-0.76499E-02	0.00000E+00	0.58521E-04

GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI					
ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ
0.00003	1	0.26051532E-05	0.00003	2	0.21470867E-08
0.00003	3	0.60418589E-14	0.00003	4	0.25447872E-13
0.00003	5	0.29117533E-11	0.00003	6	0.38423065E-06
0.00003	7	0.41628450E-07	0.00003	8	0.35385732E-04
0.00003	9	0.27355759E-06	0.00003	10	0.14516387E-01
0.00003	11	0.59599785E-06	0.00003	12	0.30988855E-06
0.00003	13	0.36906451E-04	0.00003	14	0.10336264E-04
0.00003	15	0.11598714E-01	0.00003	16	0.12735418E-05
0.00003	17	0.25047814E-06	0.00003	18	0.49049733E-04
0.00003	19	0.99876615E-05	0.00003	20	0.11224538E-01
0.00003	21	0.16925051E-05	0.00003	22	0.66619344E-06
0.00003	23	0.52904201E-04	0.00003	24	0.68562558E-05
0.00003	25	0.11271853E-01	0.00003	26	0.66249193E-08
0.00003	27	0.92876314E-03	0.00003	28	0.11451382E-04
0.00003	29	0.12339431E-04	0.00003	30	0.10702103E-01

TOPLAM KAYIP= 0.59485E-01 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.
0.00004	1	0.82952E-02	0.0000	7	0.82952E-02
0.00004	13	0.82952E-02	0.0000	19	0.82952E-02
0.00004	25	0.82952E-02	0.0000	31	0.82952E-02
0.00004	32	0.82952E-02	0.0000	33	0.82952E-02
0.00004	34	0.82952E-02	0.0000	35	0.82952E-02
0.00004	36	0.82952E-02			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ

DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ

1	0.82952E-02	2	0.83615E-02	3	0.83493E-02
4	0.83489E-02	5	0.83482E-02	6	0.83504E-02
7	0.82952E-02	8	0.833631E-02	9	0.83518E-02
10	0.83505E-02	11	0.83499E-02	12	0.83521E-02
13	0.82952E-02	14	0.83645E-02	15	0.83553E-02
16	0.83536E-02	17	0.83545E-02	18	0.83577E-02
19	0.82952E-02	20	0.83800E-02	21	0.83701E-02
22	0.83698E-02	23	0.83711E-02	24	0.83681E-02
25	0.82952E-02	26	0.83824E-02	27	0.83792E-02
28	0.83787E-02	29	0.83788E-02	30	0.83778E-02
31	0.82952E-02	32	0.82952E-02	33	0.82952E-02
34	0.82952E-02	35	0.82952E-02	36	0.82952E-02

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

MERKEZ NOKTADAKİ					MERKEZ NOKTADAKİ				
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00004	1	0.03	0.01	0.83179E-02	0.00004	2	0.07	0.00	0.83400E-02
0.00004	3	0.13	0.01	0.83589E-02	0.00004	4	0.17	0.00	0.83542E-02

FILE: FEM

SONUC

AL KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00004	5	0.23	0.01	0.83506E-02	0.00004	6	0.27	0.00	0.83496E-02
0.00004	7	0.33	0.01	0.83498E-02	0.00004	8	0.37	0.00	0.83490E-02
0.00004	9	0.43	0.01	0.83501E-02	0.00004	10	0.47	0.00	0.83502E-02
0.00004	11	0.03	0.02	0.83183E-02	0.00004	12	0.07	0.01	0.83410E-02
0.00004	13	0.13	0.02	0.83510E-02	0.00004	14	0.17	0.01	0.83568E-02
0.00004	15	0.23	0.02	0.83536E-02	0.00004	16	0.27	0.01	0.83520E-02
0.00004	17	0.33	0.02	0.83529E-02	0.00004	18	0.37	0.01	0.83517E-02
0.00004	19	0.43	0.02	0.83541E-02	0.00004	20	0.47	0.01	0.83533E-02
0.00004	21	0.03	0.03	0.83235E-02	0.00004	22	0.07	0.02	0.83466E-02
0.00004	23	0.13	0.03	0.83715E-02	0.00004	24	0.17	0.02	0.83633E-02
0.00004	25	0.23	0.03	0.83651E-02	0.00004	26	0.27	0.02	0.83596E-02
0.00004	27	0.33	0.03	0.83648E-02	0.00004	28	0.37	0.02	0.83598E-02
0.00004	29	0.43	0.03	0.83645E-02	0.00004	30	0.47	0.02	0.83601E-02
0.00004	31	0.03	0.04	0.83243E-02	0.00004	32	0.07	0.03	0.83525E-02
0.00004	33	0.13	0.04	0.83306E-02	0.00004	34	0.17	0.03	0.83765E-02
0.00004	35	0.23	0.04	0.83761E-02	0.00004	36	0.27	0.03	0.83729E-02
0.00004	37	0.33	0.04	0.83758E-02	0.00004	38	0.37	0.03	0.83732E-02
0.00004	39	0.43	0.04	0.83759E-02	0.00004	40	0.47	0.03	0.83724E-02
0.00004	41	0.03	0.05	0.82952E-02	0.00004	42	0.07	0.04	0.83243E-02
0.00004	43	0.13	0.05	0.83213E-02	0.00004	44	0.17	0.04	0.83523E-02
0.00004	45	0.23	0.05	0.83232E-02	0.00004	46	0.27	0.04	0.83511E-02
0.00004	47	0.33	0.05	0.83231E-02	0.00004	48	0.37	0.04	0.83509E-02
0.00004	49	0.43	0.05	0.83231E-02	0.00004	50	0.47	0.04	0.83506E-02

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00004	1	0.00000E+00	0.66310E-03	0.43970E-06
0.00004	2	0.00000E+00	-0.12241E-03	0.14985E-07
0.00004	3	0.00000E+00	-0.31555E-05	0.10027E-10
0.00004	4	0.00000E+00	-0.75995E-05	0.57754E-10
0.00004	5	0.00000E+00	0.22015E-04	0.48472E-09
0.00004	6	0.16354E-03	0.57911E-03	0.48841E-06
0.00004	7	0.14082E-03	-0.11314E-03	0.32629E-07
0.00004	8	0.15445E-02	-0.12927E-04	0.23857E-05
0.00004	9	0.24023E-03	-0.64820E-05	0.57777E-07
0.00004	10	-0.87202E-02	0.22128E-04	0.76042E-04
0.00004	11	0.25630E-03	0.69354E-03	0.54668E-06
0.00004	12	0.35092E-03	-0.92125E-04	0.13163E-06
0.00004	13	0.14808E-02	-0.17062E-04	0.21931E-05
0.00004	14	0.91009E-03	0.92015E-05	0.82835E-06
0.00004	15	-0.84050E-02	0.31441E-04	0.70645E-04
0.00004	16	0.15870E-03	0.84799E-03	0.74427E-06
0.00004	17	0.30957E-03	-0.98497E-04	0.10554E-06
0.00004	18	0.16149E-02	-0.36508E-05	0.26080E-05
0.00004	19	0.89519E-03	0.12927E-04	0.80153E-06
0.00004	20	-0.83536E-02	-0.29951E-04	0.69783E-04
0.00004	21	0.16987E-03	0.87202E-03	0.78927E-06
0.00004	22	0.46641E-03	-0.31516E-04	0.21853E-06
0.00004	23	0.16522E-02	-0.51409E-05	0.27297E-05
0.00004	24	0.77225E-03	0.63330E-06	0.59637E-06
0.00004	25	-0.83599E-02	-0.94995E-05	0.69888E-04
0.00004	26	0.17099E-03	0.00000E+00	0.29238E-07
0.00004	27	0.55954E-03	0.00000E+00	0.31308E-06
0.00004	28	0.10382E-02	0.00000E+00	0.10779E-05
0.00004	29	0.97677E-03	0.00000E+00	0.95408E-06
0.00004	30	-0.82649E-02	0.00000E+00	0.68309E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞÜNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞÜNLÜĞÜ
0.00004	1	0.60418631E-06	0.00004	2	0.70171580E-09
0.00004	3	0.31417130E-15	0.00004	4	0.10423445E-13
0.00004	5	0.73424377E-12	0.00004	6	0.74543777E-06
0.00004	7	0.33270662E-03	0.00004	8	0.17785584E-04
0.00004	9	0.10431851E-07	0.00004	10	0.18069789E-01
0.00004	11	0.93394777E-05	0.00004	12	0.54148227E-07
0.00004	13	0.15029836E-04	0.00004	14	0.21442384E-05
0.00004	15	0.15595980E-01	0.00004	16	0.17310485E-05
0.00004	17	0.34805836E-07	0.00004	18	0.21254498E-04
0.00004	19	0.20076432E-05	0.00004	20	0.15217859E-01
0.00004	21	0.19467052E-05	0.00004	22	0.14923285E-06
0.00004	23	0.23284840E-04	0.00004	24	0.11114453E-05
0.00004	25	0.15263710E-01	0.00004	26	0.26714149E-08
0.00004	27	0.30631611E-05	0.00004	28	0.36310958E-05

FILE: FEM SONUC AL KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00004 29 0.28445993E-05 0.00004 30 0.14581636E-01

TOPLAM KAYIP= 0.78821E-01 WATT

SINIR ZAMAN	KOSJLU DUGUM	VERILEN FONK.DEG.	VE FONK.SIYUN ZAMAN	DUGUM	BU DUGUMLERDEKİ DEGERİ
0.00005	1	0.10369E-01	0.0000	7	0.10369E-01
0.00005	13	0.10369E-01	0.0000	19	0.10369E-01
0.00005	25	0.10369E-01	0.0000	31	0.10369E-01
0.00005	32	0.10369E-01	0.0000	33	0.10369E-01
0.00005	34	0.10369E-01	0.0000	35	0.10369E-01
0.00005	36	0.10369E-01			

DUGUMLERDEKİ DUGUM MAG.	ALAN DEGERİ	DUGUMLERDEKİ DUGUM MAG.	ALAN DEGERİ	DUGUMLERDEKİ DUGUM MAG.	ALAN DEGERİ
1	0.10369E-01	2	0.10443E-01	3	0.10433E-01
4	0.10433E-01	5	0.10432E-01	6	0.10434E-01
7	0.10369E-01	8	0.10444E-01	9	0.10435E-01
10	0.10434E-01	11	0.10433E-01	12	0.10435E-01
13	0.10369E-01	14	0.10445E-01	15	0.10438E-01
16	0.10436E-01	17	0.10437E-01	18	0.10440E-01
19	0.10369E-01	20	0.10453E-01	21	0.10450E-01
22	0.10450E-01	23	0.10451E-01	24	0.10448E-01
25	0.10369E-01	26	0.10459E-01	27	0.10457E-01
28	0.10456E-01	29	0.10456E-01	30	0.10455E-01
31	0.10369E-01	32	0.10369E-01	33	0.10369E-01
34	0.10369E-01	35	0.10369E-01	36	0.10369E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
MERKEZ NOKTADAKİ									
ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00005	1	0.03	0.01	0.10394E-01	0.00005	2	0.07	0.00	0.10419E-01
0.00005	3	0.13	0.01	0.10441E-01	0.00005	4	0.17	0.00	0.10437E-01
0.00005	5	0.23	0.01	0.10434E-01	0.00005	6	0.27	0.00	0.10433E-01
0.00005	7	0.33	0.01	0.10433E-01	0.00005	8	0.37	0.00	0.10433E-01
0.00005	9	0.43	0.01	0.10434E-01	0.00005	10	0.47	0.00	0.10434E-01
0.00005	11	0.03	0.02	0.10394E-01	0.00005	12	0.07	0.01	0.10419E-01
0.00005	13	0.13	0.02	0.10442E-01	0.00005	14	0.17	0.01	0.10439E-01
0.00005	15	0.23	0.02	0.10436E-01	0.00005	16	0.27	0.01	0.10435E-01
0.00005	17	0.33	0.02	0.10436E-01	0.00005	18	0.37	0.01	0.10435E-01
0.00005	19	0.43	0.02	0.10437E-01	0.00005	20	0.47	0.01	0.10436E-01
0.00005	21	0.03	0.03	0.10399E-01	0.00005	22	0.07	0.02	0.10424E-01
0.00005	23	0.13	0.03	0.10451E-01	0.00005	24	0.17	0.02	0.10444E-01
0.00005	25	0.23	0.03	0.10446E-01	0.00005	26	0.27	0.02	0.10441E-01
0.00005	27	0.33	0.03	0.10446E-01	0.00005	28	0.37	0.02	0.10441E-01
0.00005	29	0.43	0.03	0.10445E-01	0.00005	30	0.47	0.02	0.10441E-01
0.00005	31	0.03	0.04	0.10399E-01	0.00005	32	0.07	0.03	0.10429E-01
0.00005	33	0.13	0.04	0.10458E-01	0.00005	34	0.17	0.03	0.10455E-01
0.00005	35	0.23	0.04	0.10454E-01	0.00005	36	0.27	0.03	0.10452E-01
0.00005	37	0.33	0.04	0.10454E-01	0.00005	38	0.37	0.03	0.10452E-01
0.00005	39	0.43	0.04	0.10454E-01	0.00005	40	0.47	0.03	0.10451E-01
0.00005	41	0.03	0.05	0.10369E-01	0.00005	42	0.07	0.04	0.10399E-01
0.00005	43	0.13	0.05	0.10399E-01	0.00005	44	0.17	0.04	0.10428E-01
0.00005	45	0.23	0.05	0.10398E-01	0.00005	46	0.27	0.04	0.10427E-01
0.00005	47	0.33	0.05	0.10393E-01	0.00005	48	0.37	0.04	0.10427E-01
0.00005	49	0.43	0.05	0.10398E-01	0.00005	50	0.47	0.04	0.10427E-01

GIRDAK AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00005	1	0.00000E+00	0.73375E-03	0.54577E-06
0.00005	2	0.00000E+00	-0.98313E-04	0.96649E-08
0.00005	3	0.00000E+00	-0.10053E-05	0.10117E-11
0.00005	4	0.00000E+00	-0.74878E-05	0.56068E-10
0.00005	5	0.00000E+00	0.16056E-04	0.25780E-09
0.00005	6	0.14268E-03	0.75303E-03	0.58741E-06
0.00005	7	0.42096E-04	-0.39441E-04	0.97723E-08
0.00005	8	0.13668E-02	-0.11101E-04	0.18683E-05
0.00005	9	0.64820E-04	-0.72271E-05	0.42539E-08
0.00005	10	-0.90040E-02	-0.17248E-04	0.81073E-04

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00005	11	0.23134E-03	3.75724E-03	0.62693E-06
0.00005	12	0.23618E-03	-0.70133E-04	0.60689E-07
0.00005	13	0.12491E-02	-0.16131E-04	0.15605E-05
0.00005	14	0.65081E-03	0.82701E-05	0.42362E-06
0.00005	15	-0.87719E-02	0.28647E-04	0.76948E-04
0.00005	16	0.13039E-03	0.89392E-03	0.81609E-06
0.00005	17	0.18589E-03	-0.81807E-04	0.41248E-07
0.00005	18	0.13832E-02	-0.27195E-05	0.19133E-05
0.00005	19	0.63479E-03	0.12182E-04	0.40311E-06
0.00005	20	-0.87287E-02	-0.30351E-04	0.76192E-04
0.00005	21	0.13299E-03	0.90040E-03	0.82841E-06
0.00005	22	0.34086E-03	-0.23209E-04	0.11673E-06
0.00005	23	0.14223E-02	-0.43213E-05	0.20230E-05
0.00005	24	0.51185E-03	-0.11175E-06	0.26200E-06
0.00005	25	-0.87276E-02	-0.92387E-05	0.76171E-04
0.00005	26	0.14491E-03	0.00000E+00	0.21000E-07
0.00005	27	0.45486E-03	0.00000E+00	0.20690E-06
0.00005	28	0.83223E-03	0.00000E+00	0.69261E-06
0.00005	29	0.72308E-03	0.00000E+00	0.52284E-06
0.00005	30	-0.86352E-02	0.00000E+00	0.74567E-04

GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI							
ZAMAN	NO	KAYIP	YÜKÜNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP	YÜKÜNLÜĞÜ
0.00005	1	0.93082798E-06		0.00005	2	0.29190939E-09	
0.00005	3	0.31984932E-17		0.00005	4	0.98236950E-14	
0.00005	5	0.20768207E-12		0.00005	6	0.10782896E-05	
0.00005	7	0.29843217E-09		0.00005	8	0.10907825E-04	
0.00005	9	0.56548044E-10		0.00005	10	0.20539977E-01	
0.00005	11	0.12282562E-05		0.00005	12	0.11509314E-07	
0.00005	13	0.76097331E-05		0.00005	14	0.56079244E-06	
0.00005	15	0.18502988E-01		0.00005	16	0.20812831E-05	
0.00005	17	0.53169380E-08		0.00005	18	0.11439144E-04	
0.00005	19	0.50779505E-05		0.00005	20	0.18141121E-01	
0.00005	21	0.21445840E-05		0.00005	22	0.42578620E-07	
0.00005	23	0.12789163E-04		0.00005	24	0.21450484E-06	
0.00005	25	0.18131427E-01		0.00005	26	0.13781258E-08	
0.00005	27	0.13376820E-05		0.00005	28	0.14990737E-05	
0.00005	29	0.85426490E-06		0.00005	30	0.17375767E-01	

TOPLAM KAYIP= 0.92801E-01 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN			BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ		
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.
0.00006	1	0.12442E-01	0.0001	7	0.12442E-01
0.00006	13	0.12442E-01	0.0001	19	0.12442E-01
0.00006	25	0.12442E-01	0.0001	31	0.12442E-01
0.00006	32	0.12442E-01	0.0001	33	0.12442E-01
0.00006	34	0.12442E-01	0.0001	35	0.12442E-01
0.00006	36	0.12442E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ
DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ

1	0.12442E-01	2	0.12521E-01	3	0.12513E-01
4	0.12513E-01	5	0.12512E-01	6	0.12514E-01
7	0.12442E-01	8	0.12522E-01	9	0.12515E-01
10	0.12514E-01	11	0.12513E-01	12	0.12515E-01
13	0.12442E-01	14	0.12522E-01	15	0.12517E-01
16	0.12515E-01	17	0.12516E-01	18	0.12519E-01
19	0.12442E-01	20	0.12535E-01	21	0.12528E-01
22	0.12527E-01	23	0.12529E-01	24	0.12525E-01
25	0.12442E-01	26	0.12534E-01	27	0.12532E-01
28	0.12532E-01	29	0.12532E-01	30	0.12531E-01
31	0.12442E-01	32	0.12442E-01	33	0.12442E-01
34	0.12442E-01	35	0.12442E-01	36	0.12442E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

MERKEZ NOKTADAKİ					MERKEZ NOKTADAKİ				
ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00006	1	0.03	0.01	0.12469E-01	0.00006	2	0.07	0.00	0.12495E-01
0.00006	3	0.13	0.01	0.12520E-01	0.00006	4	0.17	0.00	0.12516E-01

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNİVERSİTESİ-BİM

0.000006	5	0.23	0.01	0.12514E-01	0.000006	6	0.27	0.00	0.12513E-01
0.000006	7	0.33	0.01	0.12514E-01	0.000006	8	0.37	0.00	0.12513E-01
0.000006	9	0.43	0.01	0.12513E-01	0.000006	10	0.47	0.00	0.12514E-01
0.000006	11	0.03	0.02	0.12469E-01	0.000006	12	0.07	0.01	0.12496E-01
0.000006	13	0.13	0.02	0.12520E-01	0.000006	14	0.17	0.01	0.12518E-01
0.000006	15	0.23	0.02	0.12516E-01	0.000006	16	0.27	0.01	0.12515E-01
0.000006	17	0.33	0.02	0.12515E-01	0.000006	18	0.37	0.01	0.12515E-01
0.000006	19	0.43	0.02	0.12516E-01	0.000006	20	0.47	0.01	0.12516E-01
0.000006	21	0.03	0.03	0.12473E-01	0.000006	22	0.07	0.02	0.12500E-01
0.000006	23	0.13	0.03	0.12523E-01	0.000006	24	0.17	0.02	0.12522E-01
0.000006	25	0.23	0.03	0.12524E-01	0.000006	26	0.27	0.02	0.12520E-01
0.000006	27	0.33	0.03	0.12524E-01	0.000006	28	0.37	0.02	0.12520E-01
0.000006	29	0.43	0.03	0.12523E-01	0.000006	30	0.47	0.02	0.12520E-01
0.000006	31	0.03	0.04	0.12473E-01	0.000006	32	0.07	0.03	0.12504E-01
0.000006	33	0.13	0.04	0.12534E-01	0.000006	34	0.17	0.03	0.12532E-01
0.000006	35	0.23	0.04	0.12531E-01	0.000006	36	0.27	0.03	0.12529E-01
0.000006	37	0.33	0.04	0.12531E-01	0.000006	38	0.37	0.03	0.12529E-01
0.000006	39	0.43	0.04	0.12531E-01	0.000006	40	0.47	0.03	0.12529E-01
0.000006	41	0.03	0.05	0.12442E-01	0.000006	42	0.07	0.04	0.12473E-01
0.000006	43	0.13	0.05	0.12473E-01	0.000006	44	0.17	0.04	0.12503E-01
0.000006	45	0.23	0.05	0.12472E-01	0.000006	46	0.27	0.04	0.12502E-01
0.000006	47	0.33	0.05	0.12472E-01	0.000006	48	0.37	0.04	0.12502E-01
0.000006	49	0.43	0.05	0.12472E-01	0.000006	50	0.47	0.04	0.12502E-01

GİRİŞ AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.000006	1	0.00000E+00	0.78782E-03	0.62067E-06
0.000006	2	0.00000E+00	-0.33037E-04	0.68951E-08
0.000006	3	0.00000E+00	0.14523E-05	0.21108E-11
0.000006	4	0.00000E+00	-0.74878E-05	0.56068E-10
0.000006	5	0.00000E+00	0.13485E-04	0.18186E-09
0.000006	6	0.13188E-03	0.80101E-03	0.65901E-06
0.000006	7	-0.20489E-04	-0.74394E-04	0.59543E-08
0.000006	8	0.12457E-02	-0.88552E-05	0.15519E-05
0.000006	9	-0.45449E-04	-0.81211E-05	0.21315E-08
0.000006	10	-0.91899E-02	0.15274E-04	0.84455E-04
0.000006	11	0.21830E-03	0.79895E-03	0.68600E-06
0.000006	12	0.16131E-03	-0.56215E-04	0.29179E-07
0.000006	13	0.10975E-02	-0.14739E-04	0.12047E-05
0.000006	14	0.48503E-03	0.74505E-05	0.23531E-06
0.000006	15	-0.90100E-02	0.28014E-04	0.81181E-04
0.000006	16	0.11511E-03	0.92354E-03	0.86617E-06
0.000006	17	0.10207E-03	-0.71041E-04	0.15466E-07
0.000006	18	0.12267E-02	-0.18626E-05	0.15049E-05
0.000006	19	0.46864E-03	0.11846E-04	0.21977E-06
0.000006	20	-0.89750E-02	-0.29504E-04	0.80551E-04
0.000006	21	0.10878E-03	0.91899E-03	0.85638E-06
0.000006	22	0.25779E-03	-0.17993E-04	0.66779E-07
0.000006	23	0.12707E-02	-0.35018E-05	0.16147E-05
0.000006	24	0.34571E-03	-0.44703E-06	0.11951E-06
0.000006	25	-0.89705E-02	-0.84564E-05	0.80470E-04
0.000006	26	0.12666E-03	0.00000E+00	0.16043E-07
0.000006	27	0.38520E-03	0.00000E+00	0.14838E-06
0.000006	28	0.69551E-03	0.00000E+00	0.48374E-06
0.000006	29	0.55619E-03	0.00000E+00	0.30934E-06
0.000006	30	-0.88859E-02	0.00000E+00	0.78960E-04

GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÜZLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÜZLÜĞÜ
0.000006	1	0.12038381E-05	0.000006	2	0.14856998E-09
0.000006	3	0.13923501E-16	0.000006	4	0.98236950E-14
0.000006	5	0.10335352E-12	0.000006	6	0.13571753E-05
0.000006	7	0.11079190E-09	0.000006	8	0.75266053E-05
0.000006	9	0.14198088E-10	0.000006	10	0.22289421E-01
0.000006	11	0.14706029E-05	0.000006	12	0.26607445E-08
0.000006	13	0.45350116E-05	0.000006	14	0.17303699E-06
0.000006	15	0.20594653E-01	0.000006	16	0.23445382E-05
0.000006	17	0.74746676E-09	0.000006	18	0.70771557E-05
0.000006	19	0.15092718E-06	0.000006	20	0.20276401E-01
0.000006	21	0.22918284E-05	0.000006	22	0.13935903E-07
0.000006	23	0.81474846E-05	0.000006	24	0.44635826E-07
0.000006	25	0.20235635E-01	0.000006	26	0.80427820E-09
0.000006	27	0.68797476E-07	0.000006	28	0.73125290E-06

FILE : FEM

SONUC

AI KARADENİZ UNİVERSİTESİ-BİM

0.00006 29 0.29904004E-06 0.00006 30 0.19483276E-01

TOPLAM KAYIP= 0.10305E+00 WATT

SINIR ZAMAN	KOSULU DUGUM	VERILEN DUGUMLER FONK.DEG.	VE FONK.SIYONUN ZAMAN	BU DUGUMLERDE KI Degeri FONK.DEG.
0.00007	1	0.14516E-01	0.0001	7 0.14516E-01
0.00007	13	0.14516E-01	0.0001	19 0.14516E-01
0.00007	25	0.14516E-01	0.0001	31 0.14516E-01
0.00007	32	0.14516E-01	0.0001	33 0.14516E-01
0.00007	34	0.14516E-01	0.0001	35 0.14516E-01
0.00007	36	0.14516E-01		

DUGUMLERDEKI MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ
DUGUM MAG.ALAN DEGERİ DUGUM MAG.ALAN DEGERİ DUGUM MAG.ALAN DEGERİ

1	0.14516E-01	2	0.14598E-01	3	0.14591E-01
4	0.14592E-01	5	0.14591E-01	6	0.14592E-01
7	0.14516E-01	8	0.14599E-01	9	0.14593E-01
10	0.14593E-01	11	0.14592E-01	12	0.14593E-01
13	0.14516E-01	14	0.14599E-01	15	0.14594E-01
16	0.14593E-01	17	0.14594E-01	18	0.14596E-01
19	0.14516E-01	20	0.14610E-01	21	0.14604E-01
22	0.14604E-01	23	0.14605E-01	24	0.14602E-01
25	0.14516E-01	26	0.14609E-01	27	0.14608E-01
28	0.14607E-01	29	0.14607E-01	30	0.14606E-01
31	0.14516E-01	32	0.14516E-01	33	0.14516E-01
34	0.14516E-01	35	0.14516E-01	36	0.14516E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKI MAGNETİK ALAN DEGERLERİ

ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00007	1	0.03	0.01	0.14544E-01	0.00007	2	0.07	0.00	0.14571E-01
0.00007	3	0.13	0.01	0.14597E-01	0.00007	4	0.17	0.00	0.14594E-01
0.00007	5	0.23	0.01	0.14592E-01	0.00007	6	0.27	0.00	0.14592E-01
0.00007	7	0.33	0.01	0.14592E-01	0.00007	8	0.37	0.00	0.14591E-01
0.00007	9	0.43	0.01	0.14592E-01	0.00007	10	0.47	0.00	0.14592E-01
0.00007	11	0.03	0.02	0.14543E-01	0.00007	12	0.07	0.01	0.14571E-01
0.00007	13	0.13	0.02	0.14598E-01	0.00007	14	0.17	0.01	0.14596E-01
0.00007	15	0.23	0.02	0.14593E-01	0.00007	16	0.27	0.01	0.14593E-01
0.00007	17	0.33	0.02	0.14593E-01	0.00007	18	0.37	0.01	0.14593E-01
0.00007	19	0.43	0.02	0.14594E-01	0.00007	20	0.47	0.01	0.14594E-01
0.00007	21	0.03	0.03	0.14547E-01	0.00007	22	0.07	0.02	0.14575E-01
0.00007	23	0.13	0.03	0.14594E-01	0.00007	24	0.17	0.02	0.14599E-01
0.00007	25	0.23	0.03	0.14601E-01	0.00007	26	0.27	0.02	0.14597E-01
0.00007	27	0.33	0.03	0.14591E-01	0.00007	28	0.37	0.02	0.14597E-01
0.00007	29	0.43	0.03	0.14592E-01	0.00007	30	0.47	0.02	0.14597E-01
0.00007	31	0.03	0.04	0.14547E-01	0.00007	32	0.07	0.03	0.14578E-01
0.00007	33	0.13	0.04	0.14609E-01	0.00007	34	0.17	0.03	0.14607E-01
0.00007	35	0.23	0.04	0.14606E-01	0.00007	36	0.27	0.03	0.14605E-01
0.00007	37	0.33	0.04	0.14606E-01	0.00007	38	0.37	0.03	0.14605E-01
0.00007	39	0.43	0.04	0.14606E-01	0.00007	40	0.47	0.03	0.14605E-01
0.00007	41	0.03	0.05	0.14516E-01	0.00007	42	0.07	0.04	0.14547E-01
0.00007	43	0.13	0.05	0.14547E-01	0.00007	44	0.17	0.04	0.14578E-01
0.00007	45	0.23	0.05	0.14545E-01	0.00007	46	0.27	0.04	0.14577E-01
0.00007	47	0.33	0.05	0.14546E-01	0.00007	48	0.37	0.04	0.14577E-01
0.00007	49	0.43	0.05	0.14546E-01	0.00007	50	0.47	0.04	0.14576E-01

GIRDAK AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00007	1	0.00000E+00	0.82511E-03	0.68081E-06
0.00007	2	0.00000E+00	-0.72643E-04	0.52770E-08
0.00007	3	0.00000E+00	0.54762E-05	0.29989E-10
0.00007	4	0.00000E+00	-0.90525E-05	0.81947E-10
0.00007	5	0.00000E+00	0.10096E-04	0.10192E-09
0.00007	6	0.12368E-03	0.83743E-03	0.71667E-06
0.00007	7	-0.69663E-04	-0.54112E-04	0.89633E-08
0.00007	8	0.11522E-02	-0.49919E-05	0.13277E-05
0.00007	9	-0.12778E-03	-0.10245E-04	0.16432E-07
0.00007	10	-0.93296E-02	0.12293E-04	0.87042E-04

FILE: FEM

SONUC

AL

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00007	11	0.20899E-03	0.83052E-03	0.73343E-06
0.00007	12	0.10543E-03	-0.46603E-04	0.13286E-07
0.00007	13	0.98199E-03	-0.11586E-04	0.96443E-06
0.00007	14	0.36471E-03	0.53644E-05	0.13304E-06
0.00007	15	-0.91858E-02	0.26152E-04	0.84380E-04
0.00007	16	0.10431E-03	0.94574E-03	0.90530E-06
0.00007	17	0.39488E-04	-0.63628E-04	0.56078E-08
0.00007	18	0.11027E-02	0.48429E-06	0.12159E-05
0.00007	19	0.33714E-03	0.10505E-04	0.11377E-06
0.00007	20	-0.91631E-02	-0.30100E-04	0.83963E-04
0.00007	21	0.92387E-04	0.93296E-03	0.87895E-06
0.00007	22	0.19558E-03	-0.14380E-04	0.38457E-07
0.00007	23	0.11541E-02	-0.22724E-05	0.13319E-05
0.00007	24	0.22277E-03	-0.93132E-06	0.49628E-07
0.00007	25	-0.91538E-02	-0.88289E-05	0.83792E-04
0.00007	26	0.11437E-03	0.00000E+00	0.13080E-07
0.00007	27	0.33416E-03	0.00000E+00	0.11166E-06
0.00007	28	0.59158E-03	0.00000E+00	0.34996E-06
0.00007	29	0.43549E-03	0.00000E+00	0.18965E-06
0.00007	30	-0.90655E-02	0.00000E+00	0.82183E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUĞU	ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUĞU
0.00007	1	0.14484622E-05	0.00007	2	0.87021973E-10
0.00007	3	0.28103482E-14	0.00007	4	0.20985329E-13
0.00007	5	0.32461443E-13	0.00007	6	0.16050662E-05
0.00007	7	0.25106472E-09	0.00007	8	0.55084101E-05
0.00007	9	0.84378637E-03	0.00007	10	0.23675904E-01
0.00007	11	0.16810154E-05	0.00007	12	0.55165583E-09
0.00007	13	0.29066450E-05	0.00007	14	0.55310643E-07
0.00007	15	0.22249918E-01	0.00007	16	0.25611707E-05
0.00007	17	0.98273958E-13	0.00007	18	0.46201585E-05
0.00007	19	0.40450804E-07	0.00007	20	0.22030678E-01
0.00007	21	0.24142464E-05	0.00007	22	0.46217927E-08
0.00007	23	0.55439423E-05	0.00007	24	0.76968085E-08
0.00007	25	0.21940831E-01	0.00007	26	0.53461857E-09
0.00007	27	0.38963684E-07	0.00007	28	0.38272958E-06
0.00007	29	0.11239536E-06	0.00007	30	0.21106474E-01

TOPLAM KAYIP= 0.11103E+00 WATT

SINIR ZAMAN	KOSULU DUGUM	VERILEN DUGUMLER FONK.DEG.	VE FONKSİYONUN ZAMAN	BU DUGUMLERDEKİ DEĞERİ DUGUM FONK.DEG.	
0.00008	1	0.16589E-01	0.0001	7	0.16589E-01
0.00008	13	0.16589E-01	0.0001	19	0.16589E-01
0.00008	25	0.16589E-01	0.0001	31	0.16589E-01
0.00008	32	0.16589E-01	0.0001	33	0.16589E-01
0.00008	34	0.16589E-01	0.0001	35	0.16589E-01
0.00008	36	0.16589E-01			

DUGUMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ

DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ

1	0.16589E-01	2	0.16674E-01	3	0.16668E-01
4	0.16668E-01	5	0.16668E-01	6	0.16668E-01
7	0.16589E-01	8	0.16675E-01	9	0.16670E-01
10	0.16669E-01	11	0.16669E-01	12	0.16669E-01
13	0.16589E-01	14	0.16674E-01	15	0.16671E-01
16	0.16669E-01	17	0.16670E-01	18	0.16672E-01
19	0.16589E-01	20	0.16685E-01	21	0.16679E-01
22	0.16679E-01	23	0.16681E-01	24	0.16677E-01
25	0.16589E-01	26	0.16683E-01	27	0.16682E-01
28	0.16682E-01	29	0.16682E-01	30	0.16681E-01
31	0.16589E-01	32	0.16589E-01	33	0.16589E-01
34	0.16589E-01	35	0.16589E-01	36	0.16589E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00008	1	0.03	0.01	0.16618E-01	0.00008	2	0.07	0.00	0.16646E-01
0.00008	3	0.13	0.01	0.16673E-01	0.00008	4	0.17	0.00	0.16671E-01

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00008	5	0.23	0.01	0.16669E-01	0.00008	6	0.27	0.00	0.16669E-01
0.00008	7	0.33	0.01	0.16669E-01	0.00008	8	0.37	0.00	0.16668E-01
0.00008	9	0.43	0.01	0.16669E-01	0.00008	10	0.47	0.00	0.16669E-01
0.00008	11	0.03	0.02	0.16618E-01	0.00008	12	0.07	0.01	0.16646E-01
0.00008	13	0.13	0.02	0.16673E-01	0.00008	14	0.17	0.01	0.16672E-01
0.00008	15	0.23	0.02	0.16670E-01	0.00008	16	0.27	0.01	0.16670E-01
0.00008	17	0.33	0.02	0.16670E-01	0.00008	18	0.37	0.01	0.16669E-01
0.00008	19	0.43	0.02	0.16670E-01	0.00008	20	0.47	0.01	0.16670E-01
0.00008	21	0.03	0.03	0.16621E-01	0.00008	22	0.07	0.02	0.16650E-01
0.00008	23	0.13	0.03	0.16680E-01	0.00008	24	0.17	0.02	0.16675E-01
0.00008	25	0.23	0.03	0.16677E-01	0.00008	26	0.27	0.02	0.16673E-01
0.00008	27	0.33	0.03	0.16676E-01	0.00008	28	0.37	0.02	0.16673E-01
0.00008	29	0.43	0.03	0.16676E-01	0.00008	30	0.47	0.02	0.16673E-01
0.00008	31	0.03	0.04	0.16621E-01	0.00008	32	0.07	0.03	0.16653E-01
0.00008	33	0.13	0.04	0.16684E-01	0.00008	34	0.17	0.03	0.16682E-01
0.00008	35	0.23	0.04	0.16681E-01	0.00008	36	0.27	0.03	0.16680E-01
0.00008	37	0.33	0.04	0.16681E-01	0.00008	38	0.37	0.03	0.16681E-01
0.00008	39	0.43	0.04	0.16681E-01	0.00008	40	0.47	0.03	0.16680E-01
0.00008	41	0.03	0.05	0.16589E-01	0.00008	42	0.07	0.04	0.16620E-01
0.00008	43	0.13	0.05	0.16621E-01	0.00008	44	0.17	0.04	0.16652E-01
0.00008	45	0.23	0.05	0.16620E-01	0.00008	46	0.27	0.04	0.16651E-01
0.00008	47	0.33	0.05	0.16620E-01	0.00008	48	0.37	0.04	0.16651E-01
0.00008	49	0.43	0.05	0.16620E-01	0.00008	50	0.47	0.04	0.16651E-01

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00008	1	0.00000E+00	0.85183E-03	0.72561E-06
0.00008	2	0.00000E+00	-0.63069E-04	0.39777E-08
0.00008	3	0.00000E+00	0.45821E-05	0.20996E-10
0.00008	4	0.00000E+00	-0.61095E-05	0.37326E-10
0.00008	5	0.00000E+00	0.60722E-05	0.36872E-10
0.00008	6	0.11995E-03	0.86382E-03	0.76057E-06
0.00008	7	-0.10207E-03	-0.54911E-04	0.13434E-07
0.00008	8	0.10841E-02	-0.58487E-05	0.11752E-05
0.00008	9	-0.18440E-03	-0.77859E-05	0.34065E-07
0.00008	10	-0.94358E-02	0.83074E-05	0.89034E-04
0.00008	11	0.20154E-03	0.85361E-03	0.76927E-06
0.00008	12	0.66310E-04	-0.38072E-04	0.58465E-08
0.00008	13	0.89407E-03	-0.12591E-04	0.79952E-06
0.00008	14	0.27232E-03	0.73751E-05	0.74212E-07
0.00008	15	-0.93218E-02	0.22873E-04	0.86896E-04
0.00008	16	0.97230E-04	0.96202E-03	0.93493E-06
0.00008	17	-0.11176E-05	-0.57071E-04	0.32584E-08
0.00008	18	0.10174E-02	-0.26077E-06	0.10351E-05
0.00008	19	0.24959E-03	0.11995E-04	0.62441E-07
0.00008	20	-0.92965E-02	-0.31926E-04	0.86425E-04
0.00008	21	0.80466E-04	0.94353E-03	0.89682E-06
0.00008	22	0.15050E-03	-0.11399E-04	0.22781E-07
0.00008	23	0.10636E-02	-0.25332E-05	0.11312E-05
0.00008	24	0.12703E-03	-0.26077E-06	0.16137E-07
0.00008	25	-0.92939E-02	-0.96485E-05	0.86376E-04
0.00008	26	0.10282E-03	0.00000E+00	0.10572E-07
0.00008	27	0.29616E-03	0.00000E+00	0.87711E-07
0.00008	28	0.51558E-03	0.00000E+00	0.26582E-06
0.00008	29	0.34980E-03	0.00000E+00	0.12236E-06
0.00008	30	-0.91974E-02	0.00000E+00	0.84592E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU
0.00008	1	0.16453250E-05	0.00008	2	0.49444546E-10
0.00008	3	0.13775606E-14	0.00008	4	0.43537731E-14
0.00008	5	0.42485546E-14	0.00008	6	0.18077308E-05
0.00008	7	0.56398308E-09	0.00008	8	0.43160544E-05
0.00008	9	0.36262562E-08	0.00008	10	0.24772111E-01
0.00008	11	0.18493156E-05	0.00008	12	0.10681912E-09
0.00008	13	0.19975960E-05	0.00008	14	0.17210628E-07
0.00008	15	0.23596786E-01	0.00008	16	0.27315700E-05
0.00008	17	0.33178668E-10	0.00008	18	0.33479319E-05
0.00008	19	0.12184081E-07	0.00008	20	0.23341611E-01
0.00008	21	0.25133713E-05	0.00008	22	0.16217536E-08
0.00008	23	0.39987026E-05	0.00008	24	0.81378815E-09
0.00008	25	0.23314916E-01	0.00008	26	0.34924219E-09
0.00008	27	0.24041320E-07	0.00008	28	0.22081809E-06

FILE : FEM

SONUC

AL KARADENİZ UNIVERSİTE Sİ-BİM

0.00008 29 0.46789964E-07 0.00008 30 0.22361666E-01

TOPLAM KAYIP= 0.11751E+00 WATT

SINIR ZAMAN	KOSULU DUGUM	VERİLEN DUGUMLER FONK.DEG.	VE FONKSİYONUN ZAMAN	BU DUGUMLERDEKİ DEĞERİ DUGUM FONK.DEG.
0.00009	1	0.18662E-01	0.0001	7 0.18662E-01
0.00009	13	0.18662E-01	0.0001	19 0.18662E-01
0.00009	25	0.18662E-01	0.0001	31 0.18662E-01
0.00009	32	0.18662E-01	0.0001	33 0.18662E-01
0.00009	34	0.18662E-01	0.0001	35 0.18662E-01
0.00009	36	0.18662E-01		

DUGUMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ
DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ

1	0.18662E-01	2	0.18749E-01	3	0.18744E-01
4	0.18744E-01	5	0.18744E-01	6	0.18744E-01
7	0.18662E-01	8	0.18751E-01	9	0.18746E-01
10	0.18745E-01	11	0.18744E-01	12	0.18745E-01
13	0.18662E-01	14	0.18749E-01	15	0.18745E-01
16	0.18745E-01	17	0.18745E-01	18	0.18748E-01
19	0.18662E-01	20	0.18760E-01	21	0.18754E-01
22	0.18754E-01	23	0.18755E-01	24	0.18752E-01
25	0.18662E-01	26	0.18757E-01	27	0.18756E-01
28	0.18756E-01	29	0.18756E-01	30	0.18755E-01
31	0.18662E-01	32	0.18662E-01	33	0.18662E-01
34	0.18662E-01	35	0.18662E-01	36	0.18662E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

ZAMAN	ELEMAN	MERKEZ NOKTADAKİ X Y MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	MERKEZ NOKTADAKİ X Y MAG.ALAN.
0.00009	1	0.03 0.01 0.18692E-01	0.00009	2	0.07 0.00 0.18721E-01
0.00009	3	0.13 0.01 0.18743E-01	0.00009	4	0.17 0.00 0.18746E-01
0.00009	5	0.23 0.01 0.18745E-01	0.00009	6	0.27 0.00 0.18744E-01
0.00009	7	0.33 0.01 0.18745E-01	0.00009	8	0.37 0.00 0.18744E-01
0.00009	9	0.43 0.01 0.18744E-01	0.00009	10	0.47 0.00 0.18744E-01
0.00009	11	0.03 0.02 0.18691E-01	0.00009	12	0.07 0.01 0.18721E-01
0.00009	13	0.13 0.02 0.18749E-01	0.00009	14	0.17 0.01 0.18747E-01
0.00009	15	0.23 0.02 0.18745E-01	0.00009	16	0.27 0.01 0.18745E-01
0.00009	17	0.33 0.02 0.18745E-01	0.00009	18	0.37 0.01 0.18745E-01
0.00009	19	0.43 0.02 0.18745E-01	0.00009	20	0.47 0.01 0.18746E-01
0.00009	21	0.03 0.03 0.18695E-01	0.00009	22	0.07 0.02 0.18724E-01
0.00009	23	0.13 0.03 0.18745E-01	0.00009	24	0.17 0.02 0.18750E-01
0.00009	25	0.23 0.03 0.18752E-01	0.00009	26	0.27 0.02 0.18748E-01
0.00009	27	0.33 0.03 0.18751E-01	0.00009	28	0.37 0.02 0.18749E-01
0.00009	29	0.43 0.03 0.18751E-01	0.00009	30	0.47 0.02 0.18748E-01
0.00009	31	0.03 0.04 0.18694E-01	0.00009	32	0.07 0.03 0.18726E-01
0.00009	33	0.13 0.04 0.18758E-01	0.00009	34	0.17 0.03 0.18757E-01
0.00009	35	0.23 0.04 0.18756E-01	0.00009	36	0.27 0.03 0.18755E-01
0.00009	37	0.33 0.04 0.18755E-01	0.00009	38	0.37 0.03 0.18755E-01
0.00009	39	0.43 0.04 0.18756E-01	0.00009	40	0.47 0.03 0.18754E-01
0.00009	41	0.03 0.05 0.18692E-01	0.00009	42	0.07 0.04 0.18694E-01
0.00009	43	0.13 0.05 0.18694E-01	0.00009	44	0.17 0.04 0.18725E-01
0.00009	45	0.23 0.05 0.18693E-01	0.00009	46	0.27 0.04 0.18725E-01
0.00009	47	0.33 0.05 0.18693E-01	0.00009	48	0.37 0.04 0.18725E-01
0.00009	49	0.43 0.05 0.18693E-01	0.00009	50	0.47 0.04 0.18724E-01

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00009	1	0.00000E+00	0.87485E-03	0.76536E-06
0.00009	2	0.00000E+00	-0.57854E-04	0.33471E-08
0.00009	3	0.00000E+00	0.42941E-05	0.18353E-10
0.00009	4	0.00000E+00	-0.58350E-05	0.34645E-10
0.00009	5	0.00000E+00	0.34645E-05	0.12003E-10
0.00009	6	0.11697E-03	0.88654E-03	0.79964E-06
0.00009	7	-0.13076E-03	-0.49993E-04	0.19597E-07
0.00009	8	0.10226E-02	-0.61095E-05	0.10457E-05
0.00009	9	-0.23283E-03	-0.79349E-05	0.54273E-07
0.00009	10	-0.95244E-02	0.58850E-05	0.90715E-04

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNİVERSİTESİ-BİM

0.00009	11	0.19558E-03	0.87347E-03	0.80120E-06
0.00009	12	0.33900E-04	-0.33528E-04	0.22733E-08
0.00009	13	0.82441E-03	-0.13001E-04	0.67982E-06
0.00009	14	0.20303E-03	0.70781E-05	0.41271E-07
0.00009	15	-0.94268E-02	0.21607E-04	0.88866E-04
0.00009	16	0.91642E-04	0.97573E-03	0.96044E-06
0.00009	17	-0.35018E-04	-0.53345E-04	0.40721E-08
0.00009	18	0.94958E-03	-0.48429E-06	0.90170E-06
0.00009	19	0.18477E-03	0.11958E-04	0.34285E-07
0.00009	20	-0.94038E-02	-0.32447E-04	0.88432E-04
0.00009	21	0.71153E-04	0.95245E-03	0.91221E-06
0.00009	22	0.11511E-03	-0.97603E-05	0.13346E-07
0.00009	23	0.99838E-03	-0.23097E-05	0.99676E-06
0.00009	24	0.61467E-04	-0.37253E-06	0.37784E-08
0.00009	25	-0.94000E-02	-0.10133E-04	0.88361E-04
0.00009	26	0.95367E-04	0.00000E+00	0.90949E-08
0.00009	27	0.27232E-03	0.00000E+00	0.74157E-07
0.00009	28	0.45784E-03	0.00000E+00	0.20962E-06
0.00009	29	0.28461E-03	0.00000E+00	0.81004E-07
0.00009	30	-0.92987E-02	0.00000E+00	0.86466E-04

=====

ZAMAN	NO	GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU
-------	----	--	-------	----	-----------------

0.00009	1	0.18305391E-05	0.00009	2	0.35008746E-10
0.00009	3	0.10526447E-14	0.00009	4	0.37507568E-14
0.00009	5	0.45021770E-15	0.00009	6	0.19982226E-05
0.00009	7	0.12001218E-08	0.00009	8	0.34173563E-05
0.00009	9	0.92048964E-08	0.00009	10	0.25716372E-01
0.00009	11	0.20059973E-05	0.00009	12	0.16149942E-10
0.00009	13	0.14442143E-05	0.00009	14	0.53226934E-08
0.00009	15	0.24678569E-01	0.00009	16	0.28826598E-05
0.00009	17	0.51817522E-10	0.00009	18	0.25407971E-05
0.00009	19	0.36732273E-09	0.00009	20	0.24437927E-01
0.00009	21	0.26004227E-05	0.00009	22	0.55660432E-09
0.00009	23	0.31047566E-05	0.00009	24	0.44612578E-10
0.00009	25	0.24398703E-01	0.00009	26	0.25849389E-09
0.00009	27	0.17185396E-07	0.00009	28	0.13730863E-06
0.00009	29	0.20505175E-07	0.00009	30	0.23363516E-01

TOPLAM KAYIP= 0.12265E+00 WATT

=====

SINIR KOSULU	VERTİLEN	DUGUMLER	VE FONKSİYONUN	BU DUGUMLERDEKİ	DEĞERİ
ZAMAN	DUGUM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DUGUM	FONK. DEĞ.

0.00010	1	0.20735E-01	0.0001	7	0.20735E-01
0.00010	13	0.20735E-01	0.0001	19	0.20735E-01
0.00010	25	0.20735E-01	0.0001	31	0.20735E-01
0.00010	32	0.20735E-01	0.0001	33	0.20735E-01
0.00010	34	0.20735E-01	0.0001	35	0.20735E-01
0.00010	36	0.20735E-01			

=====

DUGUMLERDEKİ	MAGNETİK ALAN	SİDDETİLERİ	DUGUM	MAG. ALAN	DEĞERİ	DUGUM	MAG. ALAN	DEĞERİ
--------------	---------------	-------------	-------	-----------	--------	-------	-----------	--------

1	0.20735E-01	2	0.20824E-01	3	0.20819E-01
4	0.20819E-01	5	0.20819E-01	6	0.20819E-01
7	0.20735E-01	8	0.20825E-01	9	0.20821E-01
10	0.20320E-01	11	0.20819E-01	12	0.20820E-01
13	0.20735E-01	14	0.20824E-01	15	0.20821E-01
16	0.20820E-01	17	0.20820E-01	18	0.20822E-01
19	0.20735E-01	20	0.20823E-01	21	0.20829E-01
22	0.20828E-01	23	0.20830E-01	24	0.20826E-01
25	0.20735E-01	26	0.20831E-01	27	0.20830E-01
28	0.20830E-01	29	0.20830E-01	30	0.20829E-01
31	0.20735E-01	32	0.20735E-01	33	0.20735E-01
34	0.20735E-01	35	0.20735E-01	36	0.20735E-01

=====

ELEMAN	MERKEZLERİNDEKİ	MAGNETİK ALAN	DEĞERLERİ	ELEMAN	MERKEZ NOKTADAKİ	MAGNETİK ALAN	DEĞERLERİ		
ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG. ALAN.

0.00010	1	0.03	0.01	0.20765E-01	0.00010	2	0.07	0.00	0.20795E-01
0.00010	3	0.13	0.01	0.20323E-01	0.00010	4	0.17	0.00	0.20821E-01

0.00010	5	0.23	0.01	0.20320E-01	0.00010	6	0.27	0.00	0.20820E-01
0.00010	7	0.33	0.01	0.20820E-01	0.00010	8	0.37	0.00	0.20819E-01
0.00010	9	0.43	0.01	0.20819E-01	0.00010	10	0.47	0.00	0.20819E-01
0.00010	11	0.03	0.02	0.20764E-01	0.00010	12	0.07	0.01	0.20795E-01
0.00010	13	0.13	0.02	0.20823E-01	0.00010	14	0.17	0.01	0.20822E-01
0.00010	15	0.23	0.02	0.20820E-01	0.00010	16	0.27	0.01	0.20820E-01
0.00010	17	0.33	0.02	0.20820E-01	0.00010	18	0.37	0.01	0.20820E-01
0.00010	19	0.43	0.02	0.20821E-01	0.00010	20	0.47	0.01	0.20821E-01
0.00010	21	0.03	0.03	0.20768E-01	0.00010	22	0.07	0.02	0.20797E-01
0.00010	23	0.13	0.03	0.20829E-01	0.00010	24	0.17	0.02	0.20824E-01
0.00010	25	0.23	0.03	0.20826E-01	0.00010	26	0.27	0.02	0.20823E-01
0.00010	27	0.33	0.03	0.20826E-01	0.00010	28	0.37	0.02	0.20823E-01
0.00010	29	0.43	0.03	0.20825E-01	0.00010	30	0.47	0.02	0.20823E-01
0.00010	31	0.03	0.04	0.20767E-01	0.00010	32	0.07	0.03	0.20800E-01
0.00010	33	0.13	0.04	0.20831E-01	0.00010	34	0.17	0.03	0.20831E-01
0.00010	35	0.23	0.04	0.20829E-01	0.00010	36	0.27	0.03	0.20829E-01
0.00010	37	0.33	0.04	0.20829E-01	0.00010	38	0.37	0.03	0.20829E-01
0.00010	39	0.43	0.04	0.20829E-01	0.00010	40	0.47	0.03	0.20828E-01
0.00010	41	0.03	0.05	0.20735E-01	0.00010	42	0.07	0.04	0.20767E-01
0.00010	43	0.13	0.05	0.20767E-01	0.00010	44	0.17	0.04	0.20799E-01
0.00010	45	0.23	0.05	0.20767E-01	0.00010	46	0.27	0.04	0.20798E-01
0.00010	47	0.33	0.05	0.20767E-01	0.00010	48	0.37	0.04	0.20798E-01
0.00010	49	0.43	0.05	0.20766E-01	0.00010	50	0.47	0.04	0.20798E-01

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00010	1	0.00000E+00	0.89131E-03	0.79444E-06
0.00010	2	0.00000E+00	-0.52191E-04	0.27239E-08
0.00010	3	0.00000E+00	0.63702E-05	0.40580E-10
0.00010	4	0.00000E+00	-0.74506E-05	0.55511E-10
0.00010	5	0.00000E+00	0.18526E-05	0.34694E-11
0.00010	6	0.11586E-03	0.90290E-03	0.82865E-06
0.00010	7	-0.15162E-03	-0.44219E-04	0.24944E-07
0.00010	8	0.97565E-03	-0.45449E-05	0.95192E-06
0.00010	9	-0.26561E-03	-0.96485E-05	0.70643E-07
0.00010	10	-0.95874E-02	0.42341E-05	0.91918E-04
0.00010	11	0.19558E-03	0.88774E-03	0.82623E-06
0.00010	12	0.10431E-04	-0.28014E-04	0.89360E-09
0.00010	13	0.76964E-03	-0.11995E-04	0.59250E-06
0.00010	14	0.14529E-03	0.54762E-05	0.21138E-07
0.00010	15	-0.95122E-02	0.20452E-04	0.90482E-04
0.00010	16	0.86427E-04	0.98530E-03	0.97829E-06
0.00010	17	-0.64075E-04	-0.48615E-04	0.64690E-08
0.00010	18	0.89072E-03	0.11176E-06	0.79338E-06
0.00010	19	0.12666E-03	0.10990E-04	0.16163E-07
0.00010	20	-0.94946E-02	-0.33118E-04	0.90149E-04
0.00010	21	0.64448E-04	0.95374E-03	0.92334E-06
0.00010	22	0.97172E-04	-0.75251E-05	0.76555E-08
0.00010	23	0.94585E-03	-0.17509E-05	0.89464E-06
0.00010	24	0.59605E-05	-0.10803E-05	0.36694E-10
0.00010	25	-0.94838E-02	-0.10463E-04	0.89943E-04
0.00010	26	0.88662E-04	0.00000E+00	0.78609E-08
0.00010	27	0.24885E-03	0.00000E+00	0.61926E-07
0.00010	28	0.41015E-03	0.00000E+00	0.16823E-06
0.00010	29	0.23246E-03	0.00000E+00	0.54037E-07
0.00010	30	-0.93792E-02	0.00000E+00	0.87969E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU
0.00010	1	0.19722920E-05	0.00010	2	0.23186938E-10
0.00010	3	0.51460640E-14	0.00010	4	0.96296533E-14
0.00010	5	0.37615820E-16	0.00010	6	0.21458100E-05
0.00010	7	0.19443462E-08	0.00010	8	0.28317263E-05
0.00010	9	0.15595283E-07	0.00010	10	0.26403073E-01
0.00010	11	0.21338028E-05	0.00010	12	0.24953572E-11
0.00010	13	0.10970398E-05	0.00010	14	0.13963104E-08
0.00010	15	0.25584068E-01	0.00010	16	0.25907769E-05
0.00010	17	0.13077593E-09	0.00010	18	0.19670197E-05
0.00010	19	0.81643314E-09	0.00010	20	0.25396593E-01
0.00010	21	0.26642255E-05	0.00010	22	0.18314812E-09
0.00010	23	0.25011750E-05	0.00010	24	0.42077141E-14
0.00010	25	0.25280666E-01	0.00010	26	0.19310704E-09
0.00010	27	0.11983843E-07	0.00010	28	0.88438128E-07

FILE: FE4

SONUC

AL KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00010 29

0.91249213E-08

0.00010 30

0.24182770E-01

TOPLAM KAYIP= 0.12685E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DUGUMLAR VE FONKSIYONUN BU DUGUMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DUGUM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DUGUM	FONK. DEĞ.
0.00011	1	0.22807E-01	0.0001	7	0.22807E-01
0.00011	13	0.22807E-01	0.0001	19	0.22807E-01
0.00011	25	0.22807E-01	0.0001	31	0.22807E-01
0.00011	32	0.22807E-01	0.0001	33	0.22807E-01
0.00011	34	0.22807E-01	0.0001	35	0.22807E-01
0.00011	36	0.22807E-01			

DUGUMLARDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ
DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ DUGUM MAG. ALAN DEĞERİ

1	0.22807E-01	2	0.22898E-01	3	0.22893E-01
4	0.22894E-01	5	0.22893E-01	6	0.22893E-01
7	0.22807E-01	8	0.22899E-01	9	0.22895E-01
10	0.22894E-01	11	0.22894E-01	12	0.22894E-01
13	0.22807E-01	14	0.22897E-01	15	0.22895E-01
16	0.22894E-01	17	0.22894E-01	18	0.22896E-01
19	0.22807E-01	20	0.22907E-01	21	0.22902E-01
22	0.22902E-01	23	0.22903E-01	24	0.22900E-01
25	0.22807E-01	26	0.22904E-01	27	0.22903E-01
28	0.22903E-01	29	0.22903E-01	30	0.22902E-01
31	0.22807E-01	32	0.22807E-01	33	0.22807E-01
34	0.22807E-01	35	0.22807E-01	36	0.22807E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

MERKEZ NOKTADAKİ				MERKEZ NOKTADAKİ			
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	MAG. ALAN.
0.00011	1	0.03	0.01	0.22838E-01	0.00011	2	0.07 0.00 0.22868E-01
0.00011	3	0.13	0.01	0.22837E-01	0.00011	4	0.17 0.00 0.22895E-01
0.00011	5	0.23	0.01	0.22894E-01	0.00011	6	0.27 0.00 0.22894E-01
0.00011	7	0.33	0.01	0.22894E-01	0.00011	8	0.37 0.00 0.22894E-01
0.00011	9	0.43	0.01	0.22894E-01	0.00011	10	0.47 0.00 0.22894E-01
0.00011	11	0.03	0.02	0.22837E-01	0.00011	12	0.07 0.01 0.22868E-01
0.00011	13	0.13	0.02	0.22837E-01	0.00011	14	0.17 0.01 0.22896E-01
0.00011	15	0.23	0.02	0.22894E-01	0.00011	16	0.27 0.01 0.22894E-01
0.00011	17	0.33	0.02	0.22894E-01	0.00011	18	0.37 0.01 0.22894E-01
0.00011	19	0.43	0.02	0.22895E-01	0.00011	20	0.47 0.01 0.22895E-01
0.00011	21	0.03	0.03	0.22841E-01	0.00011	22	0.07 0.02 0.22870E-01
0.00011	23	0.13	0.03	0.22902E-01	0.00011	24	0.17 0.02 0.22898E-01
0.00011	25	0.23	0.03	0.22900E-01	0.00011	26	0.27 0.02 0.22897E-01
0.00011	27	0.33	0.03	0.22900E-01	0.00011	28	0.37 0.02 0.22897E-01
0.00011	29	0.43	0.03	0.22899E-01	0.00011	30	0.47 0.02 0.22897E-01
0.00011	31	0.03	0.04	0.22840E-01	0.00011	32	0.07 0.03 0.22873E-01
0.00011	33	0.13	0.04	0.22905E-01	0.00011	34	0.17 0.03 0.22904E-01
0.00011	35	0.23	0.04	0.22903E-01	0.00011	36	0.27 0.03 0.22902E-01
0.00011	37	0.33	0.04	0.22903E-01	0.00011	38	0.37 0.03 0.22903E-01
0.00011	39	0.43	0.04	0.22903E-01	0.00011	40	0.47 0.03 0.22902E-01
0.00011	41	0.03	0.05	0.22808E-01	0.00011	42	0.07 0.04 0.22840E-01
0.00011	43	0.13	0.05	0.22840E-01	0.00011	44	0.17 0.04 0.22872E-01
0.00011	45	0.23	0.05	0.22839E-01	0.00011	46	0.27 0.04 0.22871E-01
0.00011	47	0.33	0.05	0.22839E-01	0.00011	48	0.37 0.04 0.22871E-01
0.00011	49	0.43	0.05	0.22839E-01	0.00011	50	0.47 0.04 0.22871E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00011	1	0.00000E+00	0.90215E-03	0.81388E-06
0.00011	2	0.00000E+00	-0.47199E-04	0.22278E-08
0.00011	3	0.00000E+00	0.68173E-05	0.46475E-10
0.00011	4	0.00000E+00	-0.55879E-05	0.31225E-10
0.00011	5	0.00000E+00	0.24953E-05	0.62297E-11
0.00011	6	0.11362E-03	0.91352E-03	0.84742E-06
0.00011	7	-0.16578E-03	-0.39563E-04	0.29047E-07
0.00011	8	0.94287E-03	-0.39373E-05	0.88902E-06
0.00011	9	-0.28275E-03	-0.81584E-05	0.80014E-07
0.00011	10	-0.96295E-02	0.49919E-05	0.92727E-04

FILE: FEM

SONUC

A1

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ-BİM

0.00011	11	0.18999E-03	0.83634E-03	0.84059E-06
0.00011	12	-0.70781E-05	-0.23693E-04	0.61145E-09
0.00011	13	0.72755E-03	-0.11399E-04	0.52946E-06
0.00011	14	0.11027E-03	0.65565E-05	0.12202E-07
0.00011	15	-0.95703E-02	0.21383E-04	0.91591E-04
0.00011	16	0.43447E-04	0.99123E-03	0.98949E-06
0.00011	17	-0.82701E-04	-0.45223E-04	0.88848E-08
0.00011	18	0.84788E-03	0.63333E-06	0.71889E-06
0.00011	19	0.48289E-04	0.11921E-04	0.79371E-08
0.00011	20	-0.95546E-02	-0.31925E-04	0.91292E-04
0.00011	21	0.57742E-04	0.96295E-03	0.93061E-06
0.00011	22	0.64448E-04	-0.59232E-05	0.41886E-08
0.00011	23	0.90152E-03	-0.15646E-05	0.81274E-06
0.00011	24	-0.37625E-04	-0.67055E-06	0.14161E-08
0.00011	25	-0.95479E-02	-0.98348E-05	0.91163E-04
0.00011	26	0.82701E-04	0.00000E+00	0.68395E-08
0.00011	27	0.22836E-03	0.00000E+00	0.52148E-07
0.00011	28	0.36843E-03	0.00000E+00	0.13574E-06
0.00011	29	0.18328E-03	0.00000E+00	0.33593E-07
0.00011	30	-0.94496E-02	0.00000E+00	0.89294E-04

ZAMAN	NO	GIRDAP AKIMI KAYIPLARI KAYIP YÜĞÜNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÜĞÜNLÜĞÜ
0.00011	1	0.20700090E-05	0.00011	2	0.15509483E-10
0.00011	3	0.67498633E-14	0.00011	4	0.30468834E-14
0.00011	5	0.12128011E-15	0.00011	6	0.22441327E-05
0.00011	7	0.26365945E-08	0.00011	8	0.24698656E-05
0.00011	9	0.20006865E-07	0.00011	10	0.26869848E-01
0.00011	11	0.22081222E-05	0.00011	12	0.11683458E-11
0.00011	13	0.87601694E-06	0.00011	14	0.46528892E-09
0.00011	15	0.26215065E-01	0.00011	16	0.30596566E-05
0.00011	17	0.24668800E-09	0.00011	18	0.16150270E-05
0.00011	19	0.19686852E-09	0.00011	20	0.26044376E-01
0.00011	21	0.27063461E-05	0.00011	22	0.54825200E-10
0.00011	23	0.20642128E-05	0.00011	24	0.62668854E-11
0.00011	25	0.25970817E-01	0.00011	26	0.14618479E-09
0.00011	27	0.84983114E-03	0.00011	28	0.57580490E-07
0.00011	29	0.35265582E-08	0.00011	30	0.24917133E-01

TOPLAM KAYIP= 0.13011E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN	BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ				
ZAMAN DÜĞÜM FONK.DEG.	ZAMAN DÜĞÜM FONK.DEG.				
0.00012	1	0.24880E-01	0.0001	7	0.24880E-01
0.00012	13	0.24880E-01	0.0001	19	0.24880E-01
0.00012	25	0.24880E-01	0.0001	31	0.24880E-01
0.00012	32	0.24880E-01	0.0001	33	0.24880E-01
0.00012	34	0.24880E-01	0.0001	35	0.24880E-01
0.00012	36	0.24880E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ

DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ

1	0.24880E-01	2	0.24971E-01	3	0.24967E-01
4	0.24968E-01	5	0.24967E-01	6	0.24967E-01
7	0.24380E-01	8	0.24972E-01	9	0.24969E-01
10	0.24969E-01	11	0.24968E-01	12	0.24968E-01
13	0.24880E-01	14	0.24971E-01	15	0.24969E-01
16	0.24968E-01	17	0.24968E-01	18	0.24970E-01
19	0.24880E-01	20	0.24980E-01	21	0.24976E-01
22	0.24976E-01	23	0.24977E-01	24	0.24973E-01
25	0.24880E-01	26	0.24977E-01	27	0.24976E-01
28	0.24976E-01	29	0.24976E-01	30	0.24975E-01
31	0.24880E-01	32	0.24880E-01	33	0.24880E-01
34	0.24880E-01	35	0.24880E-01	36	0.24880E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00012	1	0.03	0.01	0.24911E-01	0.00012	2	0.07	0.00	0.24941E-01
0.00012	3	0.13	0.01	0.24971E-01	0.00012	4	0.17	0.00	0.24969E-01

0.00012	5	0.23	0.01	0.24958E-01	0.00012	6	0.27	0.00	0.24968E-01
0.00012	7	0.33	0.01	0.24953E-01	0.00012	8	0.37	0.00	0.24968E-01
0.00012	9	0.43	0.01	0.24968E-01	0.00012	10	0.47	0.00	0.24968E-01
0.00012	11	0.03	0.02	0.24910E-01	0.00012	12	0.07	0.01	0.24941E-01
0.00012	13	0.13	0.02	0.24971E-01	0.00012	14	0.17	0.01	0.24970E-01
0.00012	15	0.23	0.02	0.24968E-01	0.00012	16	0.27	0.01	0.24969E-01
0.00012	17	0.33	0.02	0.24968E-01	0.00012	18	0.37	0.01	0.24968E-01
0.00012	19	0.43	0.02	0.24973E-01	0.00012	20	0.47	0.01	0.24969E-01
0.00012	21	0.03	0.03	0.24913E-01	0.00012	22	0.07	0.02	0.24943E-01
0.00012	23	0.13	0.03	0.24975E-01	0.00012	24	0.17	0.02	0.24972E-01
0.00012	25	0.23	0.03	0.24974E-01	0.00012	26	0.27	0.02	0.24971E-01
0.00012	27	0.33	0.03	0.24973E-01	0.00012	28	0.37	0.02	0.24971E-01
0.00012	29	0.43	0.03	0.24973E-01	0.00012	30	0.47	0.02	0.24971E-01
0.00012	31	0.03	0.04	0.24912E-01	0.00012	32	0.07	0.03	0.24945E-01
0.00012	33	0.13	0.04	0.24978E-01	0.00012	34	0.17	0.03	0.24977E-01
0.00012	35	0.23	0.04	0.24976E-01	0.00012	36	0.27	0.03	0.24976E-01
0.00012	37	0.33	0.04	0.24976E-01	0.00012	38	0.37	0.03	0.24976E-01
0.00012	39	0.43	0.04	0.24975E-01	0.00012	40	0.47	0.03	0.24975E-01
0.00012	41	0.03	0.05	0.24880E-01	0.00012	42	0.07	0.04	0.24912E-01
0.00012	43	0.13	0.05	0.24912E-01	0.00012	44	0.17	0.04	0.24944E-01
0.00012	45	0.23	0.05	0.24912E-01	0.00012	46	0.27	0.04	0.24944E-01
0.00012	47	0.33	0.05	0.24912E-01	0.00012	48	0.37	0.04	0.24944E-01
0.00012	49	0.43	0.05	0.24912E-01	0.00012	50	0.47	0.04	0.24943E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00012	1	0.00000E+00	0.91475E-03	0.83676E-06
0.00012	2	0.00000E+00	-0.40531E-04	0.16428E-08
0.00012	3	0.00000E+00	0.55624E-05	0.32063E-10
0.00012	4	0.00000E+00	-0.74506E-05	0.55511E-10
0.00012	5	0.00000E+00	0.15646E-05	0.24480E-11
0.00012	6	0.11288E-03	0.92603E-03	0.87028E-06
0.00012	7	-0.18254E-03	-0.33415E-04	0.34437E-07
0.00012	8	0.90674E-03	-0.45821E-05	0.82219E-06
0.00012	9	-0.30920E-03	-0.10729E-04	0.95719E-07
0.00012	10	-0.96753E-02	0.45194E-05	0.93612E-04
0.00012	11	0.18403E-03	0.90773E-03	0.85793E-06
0.00012	12	-0.29430E-04	-0.18105E-04	0.11939E-08
0.00012	13	0.67949E-03	-0.12144E-04	0.46186E-06
0.00012	14	0.62212E-04	0.42095E-05	0.38881E-08
0.00012	15	-0.96384E-02	0.21532E-04	0.92900E-04
0.00012	16	0.81584E-04	0.99845E-03	0.10036E-05
0.00012	17	-0.10505E-03	-0.40829E-04	0.12703E-07
0.00012	18	0.80317E-03	0.22352E-06	0.64509E-06
0.00012	19	0.43958E-04	0.99331E-05	0.20320E-08
0.00012	20	-0.96224E-02	-0.31235E-04	0.92592E-04
0.00012	21	0.48801E-04	0.96753E-03	0.93850E-06
0.00012	22	0.44331E-04	-0.36380E-05	0.19788E-08
0.00012	23	0.86091E-03	-0.16012E-05	0.74118E-06
0.00012	24	-0.73016E-04	-0.17135E-05	0.53342E-08
0.00012	25	-0.96053E-02	-0.95485E-05	0.92262E-04
0.00012	26	0.79349E-04	0.00000E+00	0.62962E-08
0.00012	27	0.21346E-03	0.00000E+00	0.45565E-07
0.00012	28	0.33304E-03	0.00000E+00	0.11092E-06
0.00012	29	0.14305E-03	0.00000E+00	0.20464E-07
0.00012	30	-0.95088E-02	0.00000E+00	0.90417E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜNLÜĞÜ
0.00012	1	0.21880169E-05	0.00012	2	0.843334623E-11
0.00012	3	0.32126628E-14	0.00012	4	0.96296533E-14
0.00012	5	0.18727832E-16	0.00012	6	0.23668235E-05
0.00012	7	0.37060011E-08	0.00012	8	0.21124906E-05
0.00012	9	0.28631714E-07	0.00012	10	0.27384955E-01
0.00012	11	0.23001339E-05	0.00012	12	0.44543674E-11
0.00012	13	0.66660272E-06	0.00012	14	0.47241433E-10
0.00012	15	0.26970036E-01	0.00012	16	0.31473055E-05
0.00012	17	0.50428484E-09	0.00012	18	0.13004246E-05
0.00012	19	0.12903439E-10	0.00012	20	0.26791509E-01
0.00012	21	0.27524493E-05	0.00012	22	0.12236835E-10
0.00012	23	0.17166949E-05	0.00012	24	0.88918609E-10
0.00012	25	0.26600643E-01	0.00012	26	0.12388221E-09
0.00012	27	0.64879728E-08	0.00012	28	0.38445013E-07

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00012 29 0.13086257E-08 0.00012 30 0.25547776E-01

TOPLAM KAYIP= 0.13337E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN ZAMAN	DUGUM	DUGUMLER İE FONK.DEG.	FONKSİYONUN ZAMAN	BU DUGUM İERDEKİ DGERİ FONK.DEG.
0.00013	1	0.26952E-01	0.0001	7 0.26952E-01
0.00013	13	0.26952E-01	0.0001	19 0.26952E-01
0.00013	25	0.26952E-01	0.0001	31 0.26952E-01
0.00013	32	0.26952E-01	0.0001	33 0.26952E-01
0.00013	34	0.26952E-01	0.0001	35 0.26952E-01
0.00013	36	0.26952E-01		

DUGUMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ
DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ DUGUM MAG.ALAN DEĞERİ

1	0.26952E-01	2	0.27044E-01	3	0.27041E-01
4	0.27041E-01	5	0.27041E-01	6	0.27041E-01
7	0.26952E-01	8	0.27045E-01	9	0.27043E-01
10	0.27042E-01	11	0.27041E-01	12	0.27041E-01
13	0.26952E-01	14	0.27044E-01	15	0.27042E-01
16	0.27041E-01	17	0.27041E-01	18	0.27043E-01
19	0.26952E-01	20	0.27052E-01	21	0.27049E-01
22	0.27049E-01	23	0.27050E-01	24	0.27046E-01
25	0.26952E-01	26	0.27049E-01	27	0.27049E-01
28	0.27049E-01	29	0.27049E-01	30	0.27048E-01
31	0.26952E-01	32	0.26952E-01	33	0.26952E-01
34	0.26952E-01	35	0.26952E-01	36	0.26952E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

ZAMAN	ELEMAN	MERKEZ X	MERKEZ Y	NOKTADAKİ MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	MERKEZ X	MERKEZ Y	NOKTADAKİ MAG.ALAN.
0.00013	1	0.03	0.01	0.26983E-01	0.00013	2	0.07	0.00	0.27014E-01
0.00013	3	0.13	0.01	0.27044E-01	0.00013	4	0.17	0.00	0.27043E-01
0.00013	5	0.23	0.01	0.27042E-01	0.00013	6	0.27	0.00	0.27041E-01
0.00013	7	0.33	0.01	0.27042E-01	0.00013	8	0.37	0.00	0.27041E-01
0.00013	9	0.43	0.01	0.27041E-01	0.00013	10	0.47	0.00	0.27041E-01
0.00013	11	0.03	0.02	0.26983E-01	0.00013	12	0.07	0.01	0.27014E-01
0.00013	13	0.13	0.02	0.27044E-01	0.00013	14	0.17	0.01	0.27044E-01
0.00013	15	0.23	0.02	0.27042E-01	0.00013	16	0.27	0.01	0.27042E-01
0.00013	17	0.33	0.02	0.27042E-01	0.00013	18	0.37	0.01	0.27042E-01
0.00013	19	0.43	0.02	0.27042E-01	0.00013	20	0.47	0.01	0.27042E-01
0.00013	21	0.03	0.03	0.26986E-01	0.00013	22	0.07	0.02	0.27016E-01
0.00013	23	0.13	0.03	0.27048E-01	0.00013	24	0.17	0.02	0.27045E-01
0.00013	25	0.23	0.03	0.27047E-01	0.00013	26	0.27	0.02	0.27044E-01
0.00013	27	0.33	0.03	0.27046E-01	0.00013	28	0.37	0.02	0.27044E-01
0.00013	29	0.43	0.03	0.27046E-01	0.00013	30	0.47	0.02	0.27044E-01
0.00013	31	0.03	0.04	0.26984E-01	0.00013	32	0.07	0.03	0.27018E-01
0.00013	33	0.13	0.04	0.27053E-01	0.00013	34	0.17	0.03	0.27050E-01
0.00013	35	0.23	0.04	0.27049E-01	0.00013	36	0.27	0.03	0.27049E-01
0.00013	37	0.33	0.04	0.27049E-01	0.00013	38	0.37	0.03	0.27049E-01
0.00013	39	0.43	0.04	0.27049E-01	0.00013	40	0.47	0.03	0.27048E-01
0.00013	41	0.03	0.05	0.26952E-01	0.00013	42	0.07	0.04	0.26984E-01
0.00013	43	0.13	0.05	0.26985E-01	0.00013	44	0.17	0.04	0.27017E-01
0.00013	45	0.23	0.05	0.26984E-01	0.00013	46	0.27	0.04	0.27017E-01
0.00013	47	0.33	0.05	0.26984E-01	0.00013	48	0.37	0.04	0.27017E-01
0.00013	49	0.43	0.05	0.26984E-01	0.00013	50	0.47	0.04	0.27016E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00013	1	0.00000E+00	0.92365E-03	0.85313E-06
0.00013	2	0.00000E+00	-0.35204E-04	0.12393E-08
0.00013	3	0.00000E+00	0.40978E-05	0.16792E-10
0.00013	4	0.00000E+00	-0.45449E-05	0.20656E-10
0.00013	5	0.00000E+00	-0.14156E-05	0.20040E-11
0.00013	6	0.11511E-03	0.93516E-03	0.88777E-06
0.00013	7	-0.19237E-03	-0.28610E-04	0.38056E-07
0.00013	8	0.87880E-03	-0.58860E-05	0.77232E-06
0.00013	9	-0.32596E-03	-0.83819E-05	0.10632E-06
0.00013	10	-0.97115E-02	0.21234E-05	0.94312E-04

0.00013	11	0.18105E-03	0.91586E-03	0.87158E-06
0.00013	12	-0.46194E-04	-0.13933E-04	0.23280E-08
0.00013	13	0.64224E-03	-0.13225E-04	0.41265E-06
0.00013	14	0.27567E-04	0.60722E-05	0.79682E-09
0.00013	15	-0.96891E-02	0.20079E-04	0.93879E-04
0.00013	16	0.81211E-04	0.13337E-02	0.10141E-05
0.00013	17	-0.11958E-03	-0.37583E-04	0.15713E-07
0.00013	18	0.77039E-03	-0.40978E-06	0.59350E-06
0.00013	19	0.13411E-04	0.11283E-04	0.30727E-09
0.00013	20	-0.96709E-02	-0.32337E-04	0.93526E-04
0.00013	21	0.42841E-04	0.97115E-03	0.94496E-06
0.00013	22	0.24959E-04	-0.22352E-05	0.62797E-09
0.00013	23	0.82254E-03	-0.18254E-05	0.67658E-06
0.00013	24	-0.11027E-03	-0.13803E-05	0.12160E-07
0.00013	25	-0.96601E-02	-0.97975E-05	0.93317E-04
0.00013	26	0.78231E-04	0.00000E+00	0.61201E-08
0.00013	27	0.20452E-03	0.00000E+00	0.41828E-07
0.00013	28	0.30138E-03	0.00000E+00	0.90827E-07
0.00013	29	0.11213E-03	0.00000E+00	0.12573E-07
0.00013	30	-0.95621E-02	0.00000E+00	0.91433E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI					
ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUGU	ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUGU
0.00013	1	0.22744543E-05	0.00013	2	0.47997361E-11
0.00013	3	0.88117282E-15	0.00013	4	0.13333046E-14
0.00013	5	0.12549456E-16	0.00013	6	0.24629480E-05
0.00013	7	0.45258055E-08	0.00013	8	0.18639794E-05
0.00013	9	0.35326121E-07	0.00013	10	0.27796343E-01
0.00013	11	0.23739303E-05	0.00013	12	0.16935689E-10
0.00013	13	0.53211750E-05	0.00013	14	0.19841290E-11
0.00013	15	0.27541559E-01	0.00013	16	0.32136995E-05
0.00013	17	0.77152595E-09	0.00013	18	0.11007596E-05
0.00013	19	0.29503982E-12	0.00013	20	0.27334951E-01
0.00013	21	0.27904671E-05	0.00013	22	0.12323311E-11
0.00013	23	0.14305097E-05	0.00013	24	0.46210480E-09
0.00013	25	0.27212471E-01	0.00013	26	0.11704890E-09
0.00013	27	0.54673883E-08	0.00013	28	0.25780093E-07
0.00013	29	0.49403370E-09	0.00013	30	0.26125129E-01
TOPLAM KAYIP= 0.13616E+00 WATT					

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.
0.00014	1	0.29024E-01	0.0001	7	0.29024E-01
0.00014	13	0.29024E-01	0.0001	19	0.29024E-01
0.00014	25	0.29024E-01	0.0001	31	0.29024E-01
0.00014	32	0.29024E-01	0.0001	33	0.29024E-01
0.00014	34	0.29024E-01	0.0001	35	0.29024E-01
0.00014	36	0.29024E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ					
DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ
1	0.29024E-01	2	0.29117E-01	3	0.29113E-01
4	0.29114E-01	5	0.29114E-01	6	0.29113E-01
7	0.29024E-01	8	0.29118E-01	9	0.29115E-01
10	0.29115E-01	11	0.29114E-01	12	0.29114E-01
13	0.29024E-01	14	0.29116E-01	15	0.29115E-01
16	0.29113E-01	17	0.29114E-01	18	0.29116E-01
19	0.29024E-01	20	0.29125E-01	21	0.29121E-01
22	0.29121E-01	23	0.29122E-01	24	0.29119E-01
25	0.29024E-01	26	0.29121E-01	27	0.29121E-01
28	0.29121E-01	29	0.29121E-01	30	0.29120E-01
31	0.29024E-01	32	0.29024E-01	33	0.29024E-01
34	0.29024E-01	35	0.29024E-01	36	0.29024E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00014	1	0.03	0.01	0.29055E-01	0.00014	2	0.07	0.00	0.29086E-01
0.00014	3	0.13	0.01	0.29117E-01	0.00014	4	0.17	0.03	0.29115E-01

0.00014	5	0.23	0.01	0.29115E-01	0.00014	6	0.27	0.00	0.29114E-01
0.00014	7	0.33	0.01	0.29114E-01	0.00014	8	0.37	0.00	0.29114E-01
0.00014	9	0.43	0.01	0.29114E-01	0.00014	10	0.47	0.00	0.29114E-01
0.00014	11	0.03	0.02	0.29055E-01	0.00014	12	0.07	0.01	0.29086E-01
0.00014	13	0.13	0.02	0.29116E-01	0.00014	14	0.17	0.01	0.29116E-01
0.00014	15	0.23	0.02	0.29115E-01	0.00014	16	0.27	0.01	0.29115E-01
0.00014	17	0.33	0.02	0.29114E-01	0.00014	18	0.37	0.01	0.29115E-01
0.00014	19	0.43	0.02	0.29115E-01	0.00014	20	0.47	0.01	0.29115E-01
0.00014	21	0.03	0.03	0.29058E-01	0.00014	22	0.07	0.02	0.29088E-01
0.00014	23	0.13	0.03	0.29121E-01	0.00014	24	0.17	0.02	0.29117E-01
0.00014	25	0.23	0.03	0.29119E-01	0.00014	26	0.27	0.02	0.29117E-01
0.00014	27	0.33	0.03	0.29119E-01	0.00014	28	0.37	0.02	0.29117E-01
0.00014	29	0.43	0.03	0.29119E-01	0.00014	30	0.47	0.02	0.29117E-01
0.00014	31	0.03	0.04	0.29156E-01	0.00014	32	0.07	0.03	0.29090E-01
0.00014	33	0.13	0.04	0.29123E-01	0.00014	34	0.17	0.03	0.29122E-01
0.00014	35	0.23	0.04	0.29121E-01	0.00014	36	0.27	0.03	0.29121E-01
0.00014	37	0.33	0.04	0.29121E-01	0.00014	38	0.37	0.03	0.29121E-01
0.00014	39	0.43	0.04	0.29121E-01	0.00014	40	0.47	0.03	0.29121E-01
0.00014	41	0.03	0.05	0.29024E-01	0.00014	42	0.07	0.04	0.29056E-01
0.00014	43	0.13	0.05	0.29057E-01	0.00014	44	0.17	0.04	0.29089E-01
0.00014	45	0.23	0.05	0.29056E-01	0.00014	46	0.27	0.04	0.29089E-01
0.00014	47	0.33	0.05	0.29056E-01	0.00014	48	0.37	0.04	0.29089E-01
0.00014	49	0.43	0.05	0.29056E-01	0.00014	50	0.47	0.04	0.29088E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00014	1	0.00000E+00	0.93136E-03	0.86743E-06
0.00014	2	0.00000E+00	-0.35949E-04	0.12923E-08
0.00014	3	0.00000E+00	0.60722E-05	0.36872E-10
0.00014	4	0.00000E+00	-0.17381E-05	0.31974E-11
0.00014	5	0.00000E+00	-0.31292E-05	0.97922E-11
0.00014	6	0.11288E-03	0.94265E-03	0.90133E-06
0.00014	7	-0.20303E-03	-0.29132E-04	0.42069E-07
0.00014	8	-0.85831E-03	-0.39861E-05	0.73671E-06
0.00014	9	-0.33788E-03	-0.58487E-05	0.11420E-06
0.00014	10	-0.97439E-02	0.55379E-06	0.94943E-04
0.00014	11	0.18105E-03	0.92234E-03	0.88350E-06
0.00014	12	-0.52527E-04	-0.14082E-04	0.29573E-08
0.00014	13	0.61989E-03	-0.11809E-04	0.38440E-06
0.00014	14	0.12666E-04	0.32701E-05	0.22882E-09
0.00014	15	-0.97152E-02	0.19111E-04	0.94385E-04
0.00014	16	0.80466E-04	0.10082E-02	0.10229E-05
0.00014	17	-0.13076E-03	-0.37923E-04	0.18536E-07
0.00014	18	0.74580E-03	0.78231E-06	0.55622E-06
0.00014	19	-0.63330E-05	0.12773E-04	0.20338E-09
0.00014	20	-0.97040E-02	-0.32112E-04	0.94169E-04
0.00014	21	0.39861E-04	0.97439E-03	0.95102E-06
0.00014	22	0.10431E-04	-0.28685E-05	0.11703E-09
0.00014	23	0.79088E-03	-0.11173E-05	0.62549E-06
0.00014	24	-0.13858E-03	-0.44703E-06	0.19205E-07
0.00014	25	-0.96995E-02	-0.93132E-05	0.94081E-04
0.00014	26	0.76741E-04	0.00000E+00	0.58892E-08
0.00014	27	0.19595E-03	0.00000E+00	0.38397E-07
0.00014	28	0.27865E-03	0.00000E+00	0.77647E-07
0.00014	29	0.89407E-04	0.00000E+00	0.79936E-08
0.00014	30	-0.96064E-02	0.00000E+00	0.92283E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ
0.00014	1	0.23513667E-05	0.00014	2	0.52191454E-11
0.00014	3	0.42485546E-14	0.00014	4	0.31948865E-16
0.00014	5	0.29964574E-15	0.00014	6	0.25387117E-05
0.00014	7	0.55306693E-03	0.00014	8	0.16960512E-05
0.00014	9	0.40754838E-07	0.00014	10	0.28169271E-01
0.00014	11	0.24392812E-05	0.00014	12	0.27330693E-10
0.00014	13	0.46176251E-06	0.00014	14	0.16362427E-12
0.00014	15	0.27839243E-01	0.00014	16	0.32697126E-05
0.00014	17	0.10736705E-08	0.00014	18	0.96682379E-06
0.00014	19	0.12925777E-12	0.00014	20	0.27711734E-01
0.00014	21	0.28263667E-05	0.00014	22	0.42800070E-13
0.00014	23	0.12226210E-05	0.00014	24	0.11525800E-08
0.00014	25	0.27660169E-01	0.00014	26	0.10838250E-09
0.00014	27	0.46071627E-08	0.00014	28	0.18840655E-07

0.00014 29 0.19968041E-09 0.00014 30 0.26612986E-01

TOPLAM KAYIP= 0.13804E+00 WATT

SINIR KISILU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.
0.00015	1	0.31095E-01	0.0001	7	0.31095E-01
0.00015	13	0.31095E-01	0.0001	19	0.31095E-01
0.00015	25	0.31095E-01	0.0001	31	0.31095E-01
0.00015	32	0.31095E-01	0.0001	33	0.31095E-01
0.00015	34	0.31095E-01	0.0001	35	0.31095E-01
0.00015	36	0.31095E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ					
DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ
1	0.31095E-01	2	0.31189E-01	3	0.31186E-01
4	0.31186E-01	5	0.31135E-01	6	0.31186E-01
7	0.31095E-01	8	0.31190E-01	9	0.31188E-01
10	0.31187E-01	11	0.31187E-01	12	0.31186E-01
13	0.31095E-01	14	0.31188E-01	15	0.31187E-01
16	0.31186E-01	17	0.31187E-01	18	0.31188E-01
19	0.31095E-01	20	0.31197E-01	21	0.31193E-01
22	0.31193E-01	23	0.31194E-01	24	0.31191E-01
25	0.31095E-01	26	0.31193E-01	27	0.31193E-01
28	0.31193E-01	29	0.31193E-01	30	0.31192E-01
31	0.31095E-01	32	0.31095E-01	33	0.31095E-01
34	0.31095E-01	35	0.31095E-01	36	0.31095E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
MERKEZ NOKTADAKİ					MERKEZ NOKTADAKİ				
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00015	1	0.03	0.01	0.31127E-01	0.00015	2	0.07	0.00	0.31159E-01
0.00015	3	0.13	0.01	0.31189E-01	0.00015	4	0.17	0.00	0.31188E-01
0.00015	5	0.23	0.01	0.31187E-01	0.00015	6	0.27	0.00	0.31187E-01
0.00015	7	0.33	0.01	0.31187E-01	0.00015	8	0.37	0.00	0.31187E-01
0.00015	9	0.43	0.01	0.31187E-01	0.00015	10	0.47	0.00	0.31186E-01
0.00015	11	0.03	0.02	0.31126E-01	0.00015	12	0.07	0.01	0.31158E-01
0.00015	13	0.13	0.02	0.31189E-01	0.00015	14	0.17	0.01	0.31189E-01
0.00015	15	0.23	0.02	0.31187E-01	0.00015	16	0.27	0.01	0.31187E-01
0.00015	17	0.33	0.02	0.31187E-01	0.00015	18	0.37	0.01	0.31187E-01
0.00015	19	0.43	0.02	0.31187E-01	0.00015	20	0.47	0.01	0.31187E-01
0.00015	21	0.03	0.03	0.31129E-01	0.00015	22	0.07	0.02	0.31160E-01
0.00015	23	0.13	0.03	0.31193E-01	0.00015	24	0.17	0.02	0.31190E-01
0.00015	25	0.23	0.03	0.31191E-01	0.00015	26	0.27	0.02	0.31189E-01
0.00015	27	0.33	0.03	0.31191E-01	0.00015	28	0.37	0.02	0.31189E-01
0.00015	29	0.43	0.03	0.31191E-01	0.00015	30	0.47	0.02	0.31189E-01
0.00015	31	0.03	0.04	0.31123E-01	0.00015	32	0.07	0.03	0.31162E-01
0.00015	33	0.13	0.04	0.31194E-01	0.00015	34	0.17	0.03	0.31194E-01
0.00015	35	0.23	0.04	0.31193E-01	0.00015	36	0.27	0.03	0.31193E-01
0.00015	37	0.33	0.04	0.31193E-01	0.00015	38	0.37	0.03	0.31193E-01
0.00015	39	0.43	0.04	0.31193E-01	0.00015	40	0.47	0.03	0.31193E-01
0.00015	41	0.03	0.05	0.31096E-01	0.00015	42	0.07	0.04	0.31128E-01
0.00015	43	0.13	0.05	0.31128E-01	0.00015	44	0.17	0.04	0.31161E-01
0.00015	45	0.23	0.05	0.31128E-01	0.00015	46	0.27	0.04	0.31160E-01
0.00015	47	0.33	0.05	0.31123E-01	0.00015	48	0.37	0.04	0.31160E-01
0.00015	49	0.43	0.05	0.31128E-01	0.00015	50	0.47	0.04	0.31160E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00015	1	0.00000E+00	0.93918E-03	0.88207E-06
0.00015	2	0.00000E+00	-0.33341E-04	0.11116E-08
0.00015	3	0.00000E+00	0.42095E-05	0.17721E-10
0.00015	4	0.00000E+00	-0.19372E-05	0.37526E-11
0.00015	5	0.00000E+00	-0.49919E-05	0.24919E-10
0.00015	6	0.11101E-03	0.95023E-03	0.91536E-06
0.00015	7	-0.21346E-03	-0.26599E-04	0.46272E-07
0.00015	8	0.83447E-03	-0.56997E-05	0.69636E-06
0.00015	9	-0.35055E-03	-0.62957E-05	0.12292E-06
0.00015	10	-0.97733E-02	-0.14901E-05	0.95517E-04

0.00015	11	0.17844E-03	0.92894E-03	0.89477E-06
0.00015	12	-0.56683E-04	-0.11921E-04	0.45887E-08
0.00015	13	0.59195E-03	-0.12890E-04	0.35057E-06
0.00015	14	-0.11176E-04	0.75623E-05	0.18209E-09
0.00015	15	-0.97509E-02	0.17211E-04	0.95081E-04
0.00015	16	0.79349E-04	0.10124E-02	0.10312E-05
0.00015	17	-0.13858E-03	-0.36173E-04	0.20513E-07
0.00015	18	0.72308E-03	0.22352E-06	0.52284E-06
0.00015	19	-0.26077E-04	0.12033E-04	0.82480E-09
0.00015	20	-0.97383E-02	-0.33043E-04	0.94835E-04
0.00015	21	0.35763E-04	0.97733E-03	0.95645E-06
0.00015	22	0.00000E+00	-0.22352E-05	0.49960E-11
0.00015	23	0.76778E-03	-0.12665E-05	0.58949E-06
0.00015	24	-0.15534E-03	-0.30407E-06	0.24133E-07
0.00015	25	-0.97293E-02	-0.96858E-05	0.94660E-04
0.00015	26	0.70781E-04	0.00000E+00	0.50099E-08
0.00015	27	0.18701E-03	0.00000E+00	0.34973E-07
0.00015	28	0.26524E-03	0.00000E+00	0.70353E-07
0.00015	29	0.78231E-04	0.00000E+00	0.61201E-08
0.00015	30	-0.96325E-02	0.00000E+00	0.92785E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜNLÜĞÜ
0.00015	1	0.24313704E-05	0.00015	2	0.38617338E-11
0.00015	3	0.98130503E-15	0.00015	4	0.44005188E-16
0.00015	5	0.19404818E-14	0.00015	5	0.26184134E-05
0.00015	7	0.66910175E-08	0.00015	8	0.15153846E-05
0.00015	9	0.47220276E-07	0.00015	10	0.28511148E-01
0.00015	11	0.25019062E-05	0.00015	12	0.65800185E-10
0.00015	13	0.38405858E-06	0.00015	14	0.10361384E-12
0.00015	15	0.28251376E-01	0.00015	16	0.33231609E-05
0.00015	17	0.13149584E-03	0.00015	18	0.85426490E-06
0.00015	19	0.21259062E-11	0.00015	20	0.28105360E-01
0.00015	21	0.28537538E-05	0.00015	22	0.78000101E-16
0.00015	23	0.10859367E-05	0.00015	24	0.18199668E-08
0.00015	25	0.28001688E-01	0.00015	26	0.78433995E-10
0.00015	27	0.38221302E-08	0.00015	28	0.15467148E-07
0.00015	29	0.11704890E-09	0.00015	30	0.26903119E-01

TOPLAM KAYIP= 0.13939E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DUGUMLAR VE FONK.SIYONUN BU DUGUMLERDEKİ DEGERİ					
ZAMAN	DUGUM	FONK.DEG.	ZAMAN	DUGUM	FONK.DEG.
0.00016	1	0.33167E-01	0.0002	7	0.33167E-01
0.00016	13	0.33167E-01	0.0002	19	0.33167E-01
0.00016	25	0.33167E-01	0.0002	31	0.33167E-01
0.00016	32	0.33157E-01	0.0002	33	0.33167E-01
0.00016	34	0.33157E-01	0.0002	35	0.33167E-01
0.00016	36	0.33167E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ
DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ DÜĞÜM MAG. ALAN DEĞERİ

1	0.33167E-01	2	0.33262E-01	3	0.33258E-01
4	0.33259E-01	5	0.33259E-01	6	0.33258E-01
7	0.33167E-01	8	0.33263E-01	9	0.33260E-01
10	0.33260E-01	11	0.33259E-01	12	0.33259E-01
13	0.33167E-01	14	0.33260E-01	15	0.33259E-01
16	0.33258E-01	17	0.33259E-01	18	0.33260E-01
19	0.33167E-01	20	0.33269E-01	21	0.33265E-01
22	0.33265E-01	23	0.33265E-01	24	0.33263E-01
25	0.33167E-01	26	0.33265E-01	27	0.33265E-01
28	0.33265E-01	29	0.33265E-01	30	0.33263E-01
31	0.33167E-01	32	0.33167E-01	33	0.33167E-01
34	0.33167E-01	35	0.33167E-01	36	0.33167E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ

MERKEZ NOKTADAKI					MERKEZ NOKTADAKI				
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00016	1	0.03	0.01	0.33199E-01	0.00016	2	0.07	0.00	0.33230E-01
0.00016	3	0.13	0.01	0.33262E-01	0.00016	4	0.17	0.00	0.33260E-01

0.00016	5	0.23	0.01	0.33259E-01	0.00016	6	0.27	0.00	0.33259E-01
0.00016	7	0.33	0.01	0.33259E-01	0.00016	8	0.37	0.00	0.33259E-01
0.00016	9	0.43	0.01	0.33259E-01	0.00016	10	0.47	0.00	0.33259E-01
0.00016	11	0.03	0.02	0.33198E-01	0.00016	12	0.07	0.01	0.33230E-01
0.00016	13	0.13	0.02	0.33261E-01	0.00016	14	0.17	0.01	0.33261E-01
0.00016	15	0.23	0.02	0.33259E-01	0.00016	16	0.27	0.01	0.33259E-01
0.00016	17	0.33	0.02	0.33259E-01	0.00016	18	0.37	0.01	0.33260E-01
0.00016	19	0.43	0.02	0.33250E-01	0.00016	20	0.47	0.01	0.33260E-01
0.00016	21	0.03	0.03	0.33201E-01	0.00016	22	0.07	0.02	0.33232E-01
0.00016	23	0.13	0.03	0.33255E-01	0.00016	24	0.17	0.02	0.33262E-01
0.00016	25	0.23	0.03	0.33263E-01	0.00016	26	0.27	0.02	0.33261E-01
0.00016	27	0.33	0.03	0.33263E-01	0.00016	28	0.37	0.02	0.33261E-01
0.00016	29	0.43	0.03	0.33253E-01	0.00016	30	0.47	0.02	0.33261E-01
0.00016	31	0.03	0.04	0.33201E-01	0.00016	32	0.07	0.03	0.33233E-01
0.00016	33	0.13	0.04	0.33266E-01	0.00016	34	0.17	0.03	0.33266E-01
0.00016	35	0.23	0.04	0.33265E-01	0.00016	36	0.27	0.03	0.33265E-01
0.00016	37	0.33	0.04	0.33265E-01	0.00016	38	0.37	0.03	0.33265E-01
0.00016	39	0.43	0.04	0.33255E-01	0.00016	40	0.47	0.03	0.33265E-01
0.00016	41	0.03	0.05	0.33167E-01	0.00016	42	0.07	0.04	0.33200E-01
0.00016	43	0.13	0.05	0.33200E-01	0.00016	44	0.17	0.04	0.33232E-01
0.00016	45	0.23	0.05	0.33199E-01	0.00016	46	0.27	0.04	0.33232E-01
0.00016	47	0.33	0.05	0.33200E-01	0.00016	48	0.37	0.04	0.33232E-01
0.00016	49	0.43	0.05	0.33199E-01	0.00016	50	0.47	0.04	0.33232E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00016	1	0.00000E+00	0.94853E-03	0.89972E-06
0.00016	2	0.00000E+00	-0.32075E-04	0.10288E-08
0.00016	3	0.00000E+00	0.49919E-05	0.24919E-10
0.00016	4	0.00000E+00	0.48429E-06	0.23453E-12
0.00016	5	0.00000E+00	-0.89780E-05	0.80604E-10
0.00016	6	0.11101E-03	0.95964E-03	0.93322E-06
0.00016	7	-0.22389E-03	-0.25405E-04	0.50772E-07
0.00016	8	0.80988E-03	-0.47684E-05	0.65593E-06
0.00016	9	-0.36843E-03	-0.40233E-05	0.13576E-06
0.00016	10	-0.98139E-02	-0.53644E-05	0.96313E-04
0.00016	11	0.17770E-03	0.93725E-03	0.91001E-06
0.00016	12	-0.77114E-04	-0.10729E-04	0.60616E-08
0.00016	13	0.56662E-03	-0.12256E-04	0.32120E-06
0.00016	14	-0.35390E-04	0.10058E-04	0.13536E-08
0.00016	15	-0.97964E-02	0.13448E-04	0.95970E-04
0.00016	16	0.80094E-04	0.10182E-02	0.10432E-05
0.00016	17	-0.15199E-03	-0.35055E-04	0.24330E-07
0.00016	18	0.69588E-03	0.67055E-06	0.48426E-06
0.00016	19	-0.52154E-04	0.13635E-04	0.29059E-08
0.00016	20	-0.97863E-02	-0.35502E-04	0.95774E-04
0.00016	21	0.35018E-04	0.98139E-03	0.96435E-06
0.00016	22	-0.11175E-04	-0.17509E-05	0.12797E-09
0.00016	23	0.73165E-03	-0.10053E-05	0.53531E-06
0.00016	24	-0.19073E-03	-0.22352E-06	0.36380E-07
0.00016	25	-0.97841E-02	-0.11139E-04	0.95729E-04
0.00016	26	0.71153E-04	0.00000E+00	0.50628E-08
0.00016	27	0.17695E-03	0.00000E+00	0.31312E-07
0.00016	28	0.24214E-03	0.00000E+00	0.58634E-07
0.00016	29	0.52899E-04	0.00000E+00	0.27983E-08
0.00016	30	-0.96727E-02	0.00000E+00	0.93561E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ
0.00016	1	0.25296522E-05	0.00016	2	0.33075227E-11
0.00016	3	0.19404818E-14	0.00016	4	0.17189537E-18
0.00016	5	0.20302939E-13	0.00016	6	0.27215801E-05
0.00016	7	0.80556788E-03	0.00016	8	0.13444933E-05
0.00016	9	0.57594175E-07	0.00016	10	0.28987940E-01
0.00016	11	0.25878462E-05	0.00016	12	0.11482186E-09
0.00016	13	0.32241354E-06	0.00016	14	0.57260585E-11
0.00016	15	0.28781705E-01	0.00016	16	0.34009227E-05
0.00016	17	0.18498967E-08	0.00016	18	0.73282200E-06
0.00016	19	0.26389155E-10	0.00016	20	0.28664343E-01
0.00016	21	0.29061794E-05	0.00016	22	0.51172560E-13
0.00016	23	0.89548405E-05	0.00016	24	0.41359129E-08
0.00016	25	0.28637465E-01	0.00016	26	0.80098345E-10
0.00016	27	0.30638325E-08	0.00016	28	0.10743459E-07

0.00016 29 0.24470551E-10 0.00016 30 0.27355433E-01

TOPLAM KAYIP= 0.14247E+00 WATT

SINIR ZAMAN	KOSULU DUGUM	VERİLEN FONK.DEG.	DUGUMLAR VE FONKSİYONUN ZAMAN	BU DUGUMLERDEKİ FONK.DEG.	DEGERİ
0.00017	1	0.35238E-01	0.0002	7	0.35238E-01
0.00017	13	0.35238E-01	0.0002	19	0.35238E-01
0.00017	25	0.35238E-01	0.0002	31	0.35238E-01
0.00017	32	0.35238E-01	0.0002	33	0.35238E-01
0.00017	34	0.35238E-01	0.0002	35	0.35238E-01
0.00017	36	0.35238E-01			

DUGUMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ	DUGUM MAG. ALAN DEGERİ	DUGUM MAG. ALAN DEGERİ	DUGUM MAG. ALAN DEGERİ
1	0.35238E-01	2	0.35333E-01
4	0.35330E-01	5	0.35331E-01
7	0.35238E-01	8	0.35334E-01
10	0.35331E-01	11	0.35331E-01
13	0.35238E-01	14	0.35332E-01
16	0.35330E-01	17	0.35331E-01
19	0.35238E-01	20	0.35340E-01
22	0.35336E-01	23	0.35338E-01
25	0.35238E-01	26	0.35336E-01
28	0.35336E-01	29	0.35336E-01
31	0.35238E-01	32	0.35238E-01
34	0.35238E-01	35	0.35238E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEGERLERİ	MERKEZ NOKTADAKİ	MERKEZ NOKTADAKİ
ZAMAN ELEMAN X Y MAG. ALAN.	ZAMAN ELEMAN X Y MAG. ALAN.	ZAMAN ELEMAN X Y MAG. ALAN.
0.00017 1 0.03 0.01 0.35270E-01	0.00017 2 0.07 0.00 0.35302E-01	
0.00017 3 0.13 0.01 0.35333E-01	0.00017 4 0.17 0.00 0.35332E-01	
0.00017 5 0.23 0.01 0.35331E-01	0.00017 6 0.27 0.00 0.35331E-01	
0.00017 7 0.33 0.01 0.35331E-01	0.00017 8 0.37 0.00 0.35331E-01	
0.00017 9 0.43 0.01 0.35331E-01	0.00017 10 0.47 0.00 0.35330E-01	
0.00017 11 0.03 0.02 0.35269E-01	0.00017 12 0.07 0.01 0.35301E-01	
0.00017 13 0.13 0.02 0.35332E-01	0.00017 14 0.17 0.01 0.35332E-01	
0.00017 15 0.23 0.02 0.35331E-01	0.00017 16 0.27 0.01 0.35331E-01	
0.00017 17 0.33 0.02 0.35331E-01	0.00017 18 0.37 0.01 0.35331E-01	
0.00017 19 0.43 0.02 0.35331E-01	0.00017 20 0.47 0.01 0.35331E-01	
0.00017 21 0.03 0.03 0.35272E-01	0.00017 22 0.07 0.02 0.35303E-01	
0.00017 23 0.13 0.03 0.35336E-01	0.00017 24 0.17 0.02 0.35333E-01	
0.00017 25 0.23 0.03 0.35335E-01	0.00017 26 0.27 0.02 0.35333E-01	
0.00017 27 0.33 0.03 0.35335E-01	0.00017 28 0.37 0.02 0.35333E-01	
0.00017 29 0.43 0.03 0.35334E-01	0.00017 30 0.47 0.02 0.35333E-01	
0.00017 31 0.03 0.04 0.35271E-01	0.00017 32 0.07 0.03 0.35305E-01	
0.00017 33 0.13 0.04 0.35337E-01	0.00017 34 0.17 0.03 0.35338E-01	
0.00017 35 0.23 0.04 0.35336E-01	0.00017 36 0.27 0.03 0.35336E-01	
0.00017 37 0.33 0.04 0.35336E-01	0.00017 38 0.37 0.03 0.35337E-01	
0.00017 39 0.43 0.04 0.35336E-01	0.00017 40 0.47 0.03 0.35336E-01	
0.00017 41 0.03 0.05 0.35238E-01	0.00017 42 0.07 0.04 0.35271E-01	
0.00017 43 0.13 0.05 0.35271E-01	0.00017 44 0.17 0.04 0.35303E-01	
0.00017 45 0.23 0.05 0.35270E-01	0.00017 46 0.27 0.04 0.35303E-01	
0.00017 47 0.33 0.05 0.35271E-01	0.00017 48 0.37 0.04 0.35303E-01	
0.00017 49 0.43 0.05 0.35270E-01	0.00017 50 0.47 0.04 0.35303E-01	

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00017	1	0.00000E+00	0.95355E-03	0.90928E-06
0.00017	2	0.00000E+00	-0.29281E-04	0.85736E-09
0.00017	3	0.00000E+00	0.44331E-05	0.19652E-10
0.00017	4	0.00000E+00	0.37253E-06	0.13878E-12
0.00017	5	0.00000E+00	-0.95740E-05	0.91661E-10
0.00017	6	0.11176E-03	0.96474E-03	0.94321E-06
0.00017	7	-0.22948E-03	-0.22373E-04	0.53183E-07
0.00017	8	0.79349E-03	-0.51782E-05	0.62965E-06
0.00017	9	-0.37625E-03	-0.43213E-05	0.14159E-06
0.00017	10	-0.98351E-02	-0.64075E-05	0.96730E-04

0.00017	11	0.17583E-03	0.94179E-03	0.91789E-06
0.00017	12	-0.85682E-04	-0.84937E-05	0.74135E-08
0.00017	13	0.54613E-03	-0.12480E-04	0.29841E-06
0.00017	14	-0.54389E-04	0.96113E-05	0.30506E-08
0.00017	15	-0.98247E-02	0.12107E-04	0.96525E-04
0.00017	16	0.79721E-04	0.10211E-02	0.10491E-05
0.00017	17	-0.15870E-03	-0.33230E-04	0.26289E-07
0.00017	18	0.67689E-03	0.59605E-06	0.45817E-06
0.00017	19	-0.69663E-04	0.13150E-04	0.50258E-08
0.00017	20	-0.98154E-02	-0.36322E-04	0.96343E-04
0.00017	21	0.32783E-04	0.99351E-03	0.96837E-06
0.00017	22	-0.19372E-04	-0.10431E-05	0.37634E-09
0.00017	23	0.71228E-03	-0.93132E-06	0.50734E-06
0.00017	24	-0.20526E-03	-0.40973E-06	0.42133E-07
0.00017	25	-0.98113E-02	-0.11523E-04	0.96262E-04
0.00017	26	0.64448E-04	0.00000E+00	0.41535E-08
0.00017	27	0.16578E-03	0.00000E+00	0.27481E-07
0.00017	28	0.22799E-03	0.00000E+00	0.51978E-07
0.00017	29	0.41723E-04	0.00000E+00	0.17408E-08
0.00017	30	-0.96951E-02	0.00000E+00	0.93994E-04

GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI					
ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÜKÜ
0.00017	1	0.25837298E-05	0.00017	2	0.22971035E-11
0.00017	3	0.12069192E-14	0.00017	4	0.60185299E-19
0.00017	5	0.26255680E-13	0.00017	6	0.27801443E-05
0.00017	7	0.88389491E-08	0.00017	8	0.12389273E-05
0.00017	9	0.62645540E-07	0.00017	10	0.29239651E-01
0.00017	11	0.26328671E-05	0.00017	12	0.17174943E-09
0.00017	13	0.27827826E-06	0.00017	14	0.29081085E-10
0.00017	15	0.29115856E-01	0.00017	16	0.34392788E-05
0.00017	17	0.21597339E-08	0.00017	18	0.65601034E-06
0.00017	19	0.78934873E-10	0.00017	20	0.29006325E-01
0.00017	21	0.29304601E-05	0.00017	22	0.44260705E-12
0.00017	23	0.80434683E-06	0.00017	24	0.55475375E-08
0.00017	25	0.28957210E-01	0.00017	26	0.53910626E-10
0.00017	27	0.23601017E-08	0.00017	28	0.84429921E-08
0.00017	29	0.94702709E-11	0.00017	30	0.27609169E-01

TOPLAM KAYIP= 0.14409E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK. DEĞ.
0.00018	1	0.37308E-01	0.0002	7	0.37308E-01
0.00018	13	0.37308E-01	0.0002	19	0.37308E-01
0.00018	25	0.37308E-01	0.0002	31	0.37308E-01
0.00018	32	0.37308E-01	0.0002	33	0.37308E-01
0.00018	34	0.37308E-01	0.0002	35	0.37308E-01
0.00018	36	0.37308E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETLERİ					
DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG. ALAN DEĞERİ
1	0.37308E-01	2	0.37404E-01	3	0.37401E-01
4	0.37402E-01	5	0.37402E-01	6	0.37401E-01
7	0.37308E-01	8	0.37405E-01	9	0.37403E-01
10	0.37402E-01	11	0.37402E-01	12	0.37401E-01
13	0.37308E-01	14	0.37403E-01	15	0.37402E-01
16	0.37401E-01	17	0.37402E-01	18	0.37403E-01
19	0.37308E-01	20	0.37411E-01	21	0.37407E-01
22	0.37407E-01	23	0.37409E-01	24	0.37405E-01
25	0.37308E-01	26	0.37407E-01	27	0.37407E-01
28	0.37407E-01	29	0.37407E-01	30	0.37405E-01
31	0.37308E-01	32	0.37308E-01	33	0.37308E-01
34	0.37308E-01	35	0.37308E-01	36	0.37308E-01

ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG. ALAN.
0.00018	1	0.03	0.01	0.37341E-01	0.00018	2	0.07	0.00	0.37373E-01
0.00018	3	0.13	0.01	0.37404E-01	0.00018	4	0.17	0.00	0.37403E-01

0.00018	5	0.23	0.01	0.37402E-01	0.00018	6	0.27	0.00	0.37402E-01
0.00018	7	0.33	0.01	0.37402E-01	0.00018	8	0.37	0.00	0.37402E-01
0.00018	9	0.43	0.01	0.37402E-01	0.00018	10	0.47	0.00	0.37401E-01
0.00018	11	0.03	0.02	0.37340E-01	0.00018	12	0.07	0.01	0.37372E-01
0.00018	13	0.13	0.02	0.37403E-01	0.00018	14	0.17	0.01	0.37404E-01
0.00018	15	0.23	0.02	0.37402E-01	0.00018	16	0.27	0.01	0.37402E-01
0.00018	17	0.33	0.02	0.37402E-01	0.00018	18	0.37	0.01	0.37402E-01
0.00018	19	0.43	0.02	0.37403E-01	0.00018	20	0.47	0.01	0.37402E-01
0.00018	21	0.03	0.03	0.37343E-01	0.00018	22	0.07	0.02	0.37374E-01
0.00018	23	0.13	0.03	0.37407E-01	0.00018	24	0.17	0.02	0.37404E-01
0.00018	25	0.23	0.03	0.37406E-01	0.00018	26	0.27	0.02	0.37404E-01
0.00018	27	0.33	0.03	0.37405E-01	0.00018	28	0.37	0.02	0.37404E-01
0.00018	29	0.43	0.03	0.37405E-01	0.00018	30	0.47	0.02	0.37403E-01
0.00018	31	0.03	0.04	0.37341E-01	0.00018	32	0.07	0.03	0.37375E-01
0.00018	33	0.13	0.04	0.37408E-01	0.00018	34	0.17	0.03	0.37408E-01
0.00018	35	0.23	0.04	0.37407E-01	0.00018	36	0.27	0.03	0.37407E-01
0.00018	37	0.33	0.04	0.37407E-01	0.00018	38	0.37	0.03	0.37408E-01
0.00018	39	0.43	0.04	0.37407E-01	0.00018	40	0.47	0.03	0.37407E-01
0.00018	41	0.03	0.05	0.37308E-01	0.00018	42	0.07	0.04	0.37341E-01
0.00018	43	0.13	0.05	0.37341E-01	0.00018	44	0.17	0.04	0.37374E-01
0.00018	45	0.23	0.05	0.37341E-01	0.00018	46	0.27	0.04	0.37374E-01
0.00018	47	0.33	0.05	0.37341E-01	0.00018	48	0.37	0.04	0.37374E-01
0.00018	49	0.43	0.05	0.37341E-01	0.00018	50	0.47	0.04	0.37373E-01

GİRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00018	1	0.00000E+00	0.95714E-03	0.91612E-06
0.00018	2	0.00000E+00	-0.25779E-04	0.66456E-09
0.00018	3	0.00000E+00	0.30547E-05	0.93314E-11
0.00018	4	0.00000E+00	0.59605E-06	0.35527E-12
0.00018	5	0.00000E+00	-0.96485E-05	0.93094E-10
0.00018	6	0.11362E-03	0.96850E-03	0.95090E-06
0.00018	7	-0.23246E-03	-0.19521E-04	0.54418E-07
0.00018	8	0.77784E-03	-0.62957E-05	0.60508E-06
0.00018	9	-0.38221E-03	-0.46194E-05	0.14611E-06
0.00018	10	-0.98482E-02	-0.65193E-05	0.96987E-04
0.00018	11	0.17621E-03	0.94526E-03	0.92456E-06
0.00018	12	-0.93132E-04	-0.55879E-05	0.87048E-08
0.00018	13	0.52527E-03	-0.13448E-04	0.27609E-06
0.00018	14	-0.71898E-04	0.94250E-05	0.52582E-08
0.00018	15	-0.98500E-02	0.11958E-04	0.97023E-04
0.00018	16	0.82701E-04	0.10230E-02	0.10534E-05
0.00018	17	-0.16466E-03	-0.30345E-04	0.28064E-07
0.00018	18	0.65863E-03	-0.11176E-06	0.43380E-06
0.00018	19	-0.86054E-04	0.13113E-04	0.75773E-08
0.00018	20	-0.98348E-02	-0.36135E-04	0.96724E-04
0.00018	21	0.30547E-04	0.98482E-03	0.97080E-06
0.00018	22	-0.24214E-04	0.18626E-06	0.58637E-09
0.00018	23	0.69551E-03	-0.15274E-05	0.48374E-06
0.00018	24	-0.22016E-03	-0.29802E-06	0.48473E-07
0.00018	25	-0.98318E-02	-0.11585E-04	0.96664E-04
0.00018	26	0.61840E-04	0.00000E+00	0.38242E-08
0.00018	27	0.16056E-03	0.00000E+00	0.25780E-07
0.00018	28	0.21458E-03	0.00000E+00	0.46043E-07
0.00018	29	0.25332E-04	0.00000E+00	0.64171E-09
0.00018	30	-0.97159E-02	0.00000E+00	0.94399E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ
0.00018	1	0.26227090E-05	0.00018	2	0.13801130E-11
0.00018	3	0.27211103E-15	0.00018	4	0.39443068E-18
0.00018	5	0.27082571E-13	0.00018	6	0.28256836E-05
0.00018	7	0.92540660E-03	0.00018	8	0.11441134E-05
0.00018	9	0.66712346E-07	0.00018	10	0.29394992E-01
0.00018	11	0.26712632E-05	0.00018	12	0.23679458E-09
0.00018	13	0.23819666E-05	0.00018	14	0.86400873E-10
0.00018	15	0.29417302E-01	0.00018	16	0.34679806E-05
0.00018	17	0.24611495E-03	0.00018	18	0.58805688E-06
0.00018	19	0.17942223E-03	0.00018	20	0.29235974E-01
0.00018	21	0.29451594E-05	0.00018	22	0.10744721E-11
0.00018	23	0.73125995E-06	0.00018	24	0.73424715E-08
0.00018	25	0.29199842E-01	0.00018	26	0.45700652E-10
0.00018	27	0.20768243E-08	0.00018	28	0.66249193E-08

FILE: FEM

SONUC

AI KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00018 29 0.12868439E-11 0.00018 30 0.27847555E-01

TOPLAM KAYIP= 0.14525E+00 WATT

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONK.SİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.
0.00019	1	0.39378E-01	0.0002	7	0.39378E-01
0.00019	13	0.39378E-01	0.0002	19	0.39378E-01
0.00019	25	0.39378E-01	0.0002	31	0.39378E-01
0.00019	32	0.39378E-01	0.0002	33	0.39378E-01
0.00019	34	0.39378E-01	0.0002	35	0.39378E-01
0.00019	36	0.39378E-01			

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ					
DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ
1	0.39378E-01	2	0.39475E-01	3	0.39472E-01
4	0.39473E-01	5	0.39473E-01	6	0.39472E-01
7	0.39378E-01	8	0.39476E-01	9	0.39474E-01
10	0.39473E-01	11	0.39473E-01	12	0.39472E-01
13	0.39378E-01	14	0.39473E-01	15	0.39473E-01
16	0.39472E-01	17	0.39473E-01	18	0.39474E-01
19	0.39378E-01	20	0.39481E-01	21	0.39478E-01
22	0.39478E-01	23	0.39479E-01	24	0.39476E-01
25	0.39378E-01	26	0.39477E-01	27	0.39477E-01
28	0.39477E-01	29	0.39477E-01	30	0.39476E-01
31	0.39378E-01	32	0.39378E-01	33	0.39378E-01
34	0.39378E-01	35	0.39378E-01	36	0.39378E-01

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00019	1	0.03	0.01	0.39411E-01	0.00019	2	0.07	0.00	0.39443E-01
0.00019	3	0.13	0.01	0.39475E-01	0.00019	4	0.17	0.00	0.39474E-01
0.00019	5	0.23	0.01	0.39473E-01	0.00019	6	0.27	0.00	0.39473E-01
0.00019	7	0.33	0.01	0.39473E-01	0.00019	8	0.37	0.00	0.39473E-01
0.00019	9	0.43	0.01	0.39473E-01	0.00019	10	0.47	0.00	0.39472E-01
0.00019	11	0.03	0.02	0.39410E-01	0.00019	12	0.07	0.01	0.39443E-01
0.00019	13	0.13	0.02	0.39474E-01	0.00019	14	0.17	0.01	0.39474E-01
0.00019	15	0.23	0.02	0.39473E-01	0.00019	16	0.27	0.01	0.39473E-01
0.00019	17	0.33	0.02	0.39473E-01	0.00019	18	0.37	0.01	0.39473E-01
0.00019	19	0.43	0.02	0.39473E-01	0.00019	20	0.47	0.01	0.39473E-01
0.00019	21	0.03	0.03	0.39413E-01	0.00019	22	0.07	0.02	0.39444E-01
0.00019	23	0.13	0.03	0.39478E-01	0.00019	24	0.17	0.02	0.39475E-01
0.00019	25	0.23	0.03	0.39477E-01	0.00019	26	0.27	0.02	0.39475E-01
0.00019	27	0.33	0.03	0.39476E-01	0.00019	28	0.37	0.02	0.39475E-01
0.00019	29	0.43	0.03	0.39476E-01	0.00019	30	0.47	0.02	0.39474E-01
0.00019	31	0.03	0.04	0.39412E-01	0.00019	32	0.07	0.03	0.39446E-01
0.00019	33	0.13	0.04	0.39479E-01	0.00019	34	0.17	0.03	0.39479E-01
0.00019	35	0.23	0.04	0.39478E-01	0.00019	36	0.27	0.03	0.39478E-01
0.00019	37	0.33	0.04	0.39478E-01	0.00019	38	0.37	0.03	0.39478E-01
0.00019	39	0.43	0.04	0.39478E-01	0.00019	40	0.47	0.03	0.39477E-01
0.00019	41	0.03	0.05	0.39379E-01	0.00019	42	0.07	0.04	0.39411E-01
0.00019	43	0.13	0.05	0.39412E-01	0.00019	44	0.17	0.04	0.39445E-01
0.00019	45	0.23	0.05	0.39412E-01	0.00019	46	0.27	0.04	0.39444E-01
0.00019	47	0.33	0.05	0.39412E-01	0.00019	48	0.37	0.04	0.39444E-01
0.00019	49	0.43	0.05	0.39411E-01	0.00019	50	0.47	0.04	0.39444E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLEŞENİ	Y BİLEŞENİ	BİLEŞKE AKIM
0.00019	1	0.00000E+00	0.96232E-03	0.92605E-06
0.00019	2	0.00000E+00	-0.24177E-04	0.58453E-09
0.00019	3	0.00000E+00	0.33523E-05	0.11241E-10
0.00019	4	0.00000E+00	0.89407E-06	0.79936E-12
0.00019	5	0.00000E+00	-0.10580E-04	0.11193E-09
0.00019	6	0.11139E-03	0.97346E-03	0.96002E-06
0.00019	7	-0.23916E-03	-0.17956E-04	0.57522E-07
0.00019	8	0.76555E-03	-0.59232E-05	0.58610E-06
0.00019	9	-0.38967E-03	-0.43586E-05	0.15186E-06
0.00019	10	-0.98713E-02	-0.71526E-05	0.97442E-04

ILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNIVERSİTESİ-DİM

0.00019	11	0.17360E-03	3.94954E-03	0.93176E-06
0.00019	12	-0.97603E-04	-0.37998E-05	0.95407E-08
0.00019	13	0.50738E-03	-0.13563E-04	0.25762E-06
0.00019	14	-0.87544E-04	0.96485E-05	0.77571E-08
0.00019	15	-0.98772E-02	0.11660E-04	0.97560E-04
0.00019	16	0.80839E-04	0.10261E-02	0.10594E-05
0.00019	17	-0.17397E-03	-0.29616E-04	0.31143E-07
0.00019	18	0.64448E-03	0.14901E-06	0.41535E-06
0.00019	19	-0.10058E-03	0.13001E-04	0.10286E-07
0.00019	20	-0.98657E-02	-0.36359E-04	0.97333E-04
0.00019	21	0.28312E-04	0.93713E-03	0.97522E-06
0.00019	22	-0.33900E-04	0.59605E-06	0.11496E-08
0.00019	23	0.67800E-03	-0.11543E-05	0.45969E-06
0.00019	24	-0.23507E-03	-0.44703E-06	0.55256E-07
0.00019	25	-0.98612E-02	-0.11697E-04	0.97244E-04
0.00019	26	0.62585E-04	0.00000E+00	0.39169E-08
0.00019	27	0.15423E-03	0.00000E+00	0.23786E-07
0.00019	28	0.19781E-03	0.00000E+00	0.39120E-07
0.00019	29	0.11548E-04	0.00000E+00	0.13327E-09
0.00019	30	-0.97442E-02	0.00000E+00	0.94950E-04

=====

GİRİŞ AKIMI KAYIPLARI					
ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUĞU	ZAMAN	NO	KAYIP YOGUNLUĞU
0.00019	1	0.26799271E-05	0.00019	2	0.10677483E-11
0.00019	3	0.39437617E-15	0.00019	4	0.19968057E-17
0.00019	5	0.39152932E-13	0.00019	6	0.28801342E-05
0.00019	7	0.10339821E-07	0.00019	8	0.10734693E-05
0.00019	9	0.72065177E-07	0.00019	10	0.29671751E-01
0.00019	11	0.27130609E-05	0.00019	12	0.28445335E-09
0.00019	13	0.20740481E-06	0.00019	14	0.18803940E-09
0.00019	15	0.29743534E-01	0.00019	16	0.35073017E-05
0.00019	17	0.30309031E-08	0.00019	18	0.53910651E-06
0.00019	19	0.33062664E-09	0.00019	20	0.29605385E-01
0.00019	21	0.29720550E-05	0.00019	22	0.41297556E-11
0.00019	23	0.66035636E-06	0.00019	24	0.95413810E-08
0.00019	25	0.29551044E-01	0.00019	26	0.47943260E-10
0.00019	27	0.17680395E-08	0.00019	28	0.47848516E-08
0.00019	29	0.55582421E-13	0.00019	30	0.28173570E-01

TOPLAM KAYIP= 0.14689E+00 WATT

=====

SINIR KOSULU VERİLEN DÜĞÜMLER VE FONKSİYONUN BU DÜĞÜMLERDEKİ DEĞERİ					
ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.	ZAMAN	DÜĞÜM	FONK.DEG.
0.00020	1	0.41448E-01	0.0002	7	0.41448E-01
0.00020	13	0.41448E-01	0.0002	19	0.41448E-01
0.00020	25	0.41448E-01	0.0002	31	0.41448E-01
0.00020	32	0.41448E-01	0.0002	33	0.41448E-01
0.00020	34	0.41448E-01	0.0002	35	0.41448E-01
0.00020	36	0.41448E-01			

=====

DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ					
DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM	MAG.ALAN DEĞERİ
1	0.41448E-01	2	0.41545E-01	3	0.41543E-01
4	0.41543E-01	5	0.41543E-01	6	0.41542E-01
7	0.41448E-01	8	0.41546E-01	9	0.41544E-01
10	0.41544E-01	11	0.41543E-01	12	0.41543E-01
13	0.41448E-01	14	0.41544E-01	15	0.41543E-01
16	0.41542E-01	17	0.41543E-01	18	0.41544E-01
19	0.41448E-01	20	0.41551E-01	21	0.41548E-01
22	0.41548E-01	23	0.41550E-01	24	0.41546E-01
25	0.41448E-01	26	0.41547E-01	27	0.41547E-01
28	0.41547E-01	29	0.41547E-01	30	0.41546E-01
31	0.41448E-01	32	0.41448E-01	33	0.41448E-01
34	0.41448E-01	35	0.41448E-01	36	0.41448E-01

=====

ELEMAN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMAN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00020	1	0.03	0.01	0.41481E-01	0.00020	2	0.07	0.00	0.41513E-01
0.00020	3	0.13	0.01	0.41545E-01	0.00020	4	0.17	0.00	0.41544E-01

ILE: FEM

SONUC

A1

KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00021	11	0.17248E-03	0.95680E-03	0.94522E-06
0.00021	12	-0.10915E-03	-0.10431E-05	0.11915E-07
0.00021	13	0.47535E-03	-0.14044E-04	0.22615E-06
0.00021	14	-0.11548E-03	3.84192E-05	0.13407E-07
0.00021	15	-0.99175E-02	3.12773E-04	0.98356E-04
0.00021	16	0.79349E-04	0.10303E-02	0.10681E-05
0.00021	17	-0.18664E-03	-0.27157E-04	0.35571E-07
0.00021	18	0.61058E-03	-0.52154E-06	0.37280E-06
0.00021	19	-0.12517E-03	0.12256E-04	0.15818E-07
0.00021	20	-0.99026E-02	-0.34869E-04	0.98062E-04
0.00021	21	0.26077E-04	0.99322E-03	0.98121E-06
0.00021	22	-0.45821E-04	0.15274E-05	0.21019E-08
0.00021	23	0.64895E-03	-0.14901E-05	0.42113E-06
0.00021	24	-0.25332E-03	-0.55879E-06	0.64171E-07
0.00021	25	-0.98970E-02	-0.10915E-04	0.97950E-04
0.00021	26	0.54762E-04	0.00000E+00	0.29989E-08
0.00021	27	0.14193E-03	0.00000E+00	0.20145E-07
0.00021	28	0.17248E-03	0.00000E+00	0.29750E-07
0.00021	29	-0.13784E-04	0.00000E+00	0.18999E-09
0.00021	30	-0.97878E-02	0.00000E+00	0.95802E-04

GİRDAP AKIMI KAYIPLARI			
ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLUGU	ZAMAN NO KAYIP YÖĞUNLUGU
0.00021	1	0.27723945E-05	0.00021 2 0.61766949E-12
0.00021	3	0.25907816E-15	0.00021 4 0.39487606E-19
0.00021	5	0.19310725E-13	0.00021 6 0.29770727E-05
0.00021	7	0.11998921E-07	0.00021 8 0.91956093E-06
0.00021	9	0.81913811E-07	0.00021 10 0.30045245E-01
0.00021	11	0.27920205E-05	0.00021 12 0.44364978E-09
0.00021	13	0.15982727E-06	0.00021 14 0.56174798E-09
0.00021	15	0.30231126E-01	0.00021 16 0.35653011E-05
0.00021	17	0.39540282E-08	0.00021 18 0.43431675E-06
0.00021	19	0.78187146E-09	0.00021 20 0.30050486E-01
0.00021	21	0.30086876E-05	0.00021 22 0.13806240E-10
0.00021	23	0.55422680E-05	0.00021 24 0.12868547E-07
0.00021	25	0.29982060E-01	0.00021 26 0.28103450E-10
0.00021	27	0.12682073E-08	0.00021 28 0.27657605E-08
0.00021	29	0.11279703E-12	0.00021 30 0.28681058E-01

TOPLAM KAYIP= 0.14900E+00 WATT

0.00020 29 0.15407437E-16 0.00020 30 0.28437305E-01

TOPLAN KAYIP= 0.14806E+00 WATT

=====					
SINIR KOSULU VERİLEN DUGJMLER VE FONKSIYONUN BU DUGJMLERDEKİ DEGERİ					
ZAMAN	DUGUM	FONK.DEG.	ZAMAN	DUGUM	FONK.DEG.
0.00021	1	0.43518E-01	0.0002	7	0.43518E-01
0.00021	13	0.43513E-01	0.0002	19	0.43518E-01
0.00021	25	0.43518E-01	0.0002	31	0.43518E-01
0.00021	32	0.43518E-01	0.0002	33	0.43518E-01
0.00021	34	0.43518E-01	0.0002	35	0.43518E-01
0.00021	36	0.43518E-01			

=====					
DÜĞÜMLERDEKİ MAGNETİK ALAN SİDDETİLERİ					
DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ	DÜĞÜM MAG.ALAN DEĞERİ			
1 0.43518E-01	2 0.43615E-01	3 0.43613E-01			
4 0.43613E-01	5 0.43613E-01	6 0.43612E-01			
7 0.43518E-01	8 0.43616E-01	9 0.43614E-01			
10 0.43614E-01	11 0.43613E-01	12 0.43613E-01			
13 0.43518E-01	14 0.43613E-01	15 0.43613E-01			
16 0.43612E-01	17 0.43613E-01	18 0.43614E-01			
19 0.43518E-01	20 0.43621E-01	21 0.43618E-01			
22 0.43619E-01	23 0.43619E-01	24 0.43616E-01			
25 0.43518E-01	26 0.43617E-01	27 0.43617E-01			
28 0.43617E-01	29 0.43617E-01	30 0.43616E-01			
31 0.43518E-01	32 0.43518E-01	33 0.43518E-01			
34 0.43518E-01	35 0.43518E-01	36 0.43518E-01			

=====									
ELEMEN MERKEZLERİNDEKİ MAGNETİK ALAN DEĞERLERİ									
MERKEZ NOKTADAKİ				MERKEZ NOKTADAKİ					
ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.	ZAMAN	ELEMEN	X	Y	MAG.ALAN.
0.00021	1	0.03	0.01	0.43551E-01	0.00021	2	0.07	0.00	0.43583E-01
0.00021	3	0.13	0.01	0.43615E-01	0.00021	4	0.17	0.00	0.43614E-01
0.00021	5	0.23	0.01	0.43514E-01	0.00021	6	0.27	0.00	0.43613E-01
0.00021	7	0.33	0.01	0.43613E-01	0.00021	8	0.37	0.00	0.43613E-01
0.00021	9	0.43	0.01	0.43613E-01	0.00021	10	0.47	0.00	0.43613E-01
0.00021	11	0.03	0.02	0.43550E-01	0.00021	12	0.07	0.01	0.43582E-01
0.00021	13	0.13	0.02	0.43514E-01	0.00021	14	0.17	0.01	0.43615E-01
0.00021	15	0.23	0.02	0.43613E-01	0.00021	16	0.27	0.01	0.43613E-01
0.00021	17	0.33	0.02	0.43613E-01	0.00021	18	0.37	0.01	0.43613E-01
0.00021	19	0.43	0.02	0.43514E-01	0.00021	20	0.47	0.01	0.43614E-01
0.00021	21	0.03	0.03	0.43552E-01	0.00021	22	0.07	0.02	0.43584E-01
0.00021	23	0.13	0.03	0.43617E-01	0.00021	24	0.17	0.02	0.43615E-01
0.00021	25	0.23	0.03	0.43617E-01	0.00021	26	0.27	0.02	0.43615E-01
0.00021	27	0.33	0.03	0.43515E-01	0.00021	28	0.37	0.02	0.43615E-01
0.00021	29	0.43	0.03	0.43616E-01	0.00021	30	0.47	0.02	0.43614E-01
0.00021	31	0.03	0.04	0.43551E-01	0.00021	32	0.07	0.03	0.43585E-01
0.00021	33	0.13	0.04	0.43618E-01	0.00021	34	0.17	0.03	0.43619E-01
0.00021	35	0.23	0.04	0.43517E-01	0.00021	36	0.27	0.03	0.43618E-01
0.00021	37	0.33	0.04	0.43617E-01	0.00021	38	0.37	0.03	0.43618E-01
0.00021	39	0.43	0.04	0.43617E-01	0.00021	40	0.47	0.03	0.43617E-01
0.00021	41	0.03	0.05	0.43518E-01	0.00021	42	0.07	0.04	0.43551E-01
0.00021	43	0.13	0.05	0.43551E-01	0.00021	44	0.17	0.04	0.43584E-01
0.00021	45	0.23	0.05	0.43551E-01	0.00021	46	0.27	0.04	0.43584E-01
0.00021	47	0.33	0.05	0.43551E-01	0.00021	48	0.37	0.04	0.43584E-01
0.00021	49	0.43	0.05	0.43551E-01	0.00021	50	0.47	0.04	0.43583E-01

=====

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00021 1	0.00000E+00	0.97051E-03	0.94190E-06
0.00021 2	0.00000E+00	-0.21085E-04	0.44458E-09
0.00021 3	0.00000E+00	0.30175E-05	0.91052E-11
0.00021 4	0.00000E+00	-0.33528E-06	0.11241E-12
0.00021 5	0.00000E+00	-0.88552E-05	0.78609E-10
0.00021 6	0.11139E-03	0.98155E-03	0.97605E-06
0.00021 7	-0.24848E-03	-0.14975E-04	0.61965E-07
0.00021 8	0.73649E-03	-0.62957E-05	0.54246E-06
0.00021 9	-0.40233E-03	-0.56624E-05	0.16190E-06
0.00021 10	-0.99022E-02	-0.59977E-05	0.98053E-04

FILE: FEM

SONUC

A1 KARADENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

0.00020	5	0.23	0.01	0.41544E-01	0.00020	6	0.27	0.00	0.41543E-01
0.00020	7	0.33	0.01	0.41544E-01	0.00020	8	0.37	0.00	0.41543E-01
0.00020	9	0.43	0.01	0.41543E-01	0.00020	10	0.47	0.00	0.41543E-01
0.00020	11	0.03	0.02	0.41480E-01	0.00020	12	0.07	0.01	0.41513E-01
0.00020	13	0.13	0.02	0.41545E-01	0.00020	14	0.17	0.01	0.41545E-01
0.00020	15	0.23	0.02	0.41543E-01	0.00020	16	0.27	0.01	0.41544E-01
0.00020	17	0.33	0.02	0.41543E-01	0.00020	18	0.37	0.01	0.41544E-01
0.00020	19	0.43	0.02	0.41544E-01	0.00020	20	0.47	0.01	0.41544E-01
0.00020	21	0.03	0.03	0.41483E-01	0.00020	22	0.07	0.02	0.41514E-01
0.00020	23	0.13	0.03	0.41543E-01	0.00020	24	0.17	0.02	0.41545E-01
0.00020	25	0.23	0.03	0.41547E-01	0.00020	26	0.27	0.02	0.41545E-01
0.00020	27	0.33	0.03	0.41547E-01	0.00020	28	0.37	0.02	0.41545E-01
0.00020	29	0.43	0.03	0.41545E-01	0.00020	30	0.47	0.02	0.41545E-01
0.00020	31	0.03	0.04	0.41481E-01	0.00020	32	0.07	0.03	0.41516E-01
0.00020	33	0.13	0.04	0.41549E-01	0.00020	34	0.17	0.03	0.41549E-01
0.00020	35	0.23	0.04	0.41548E-01	0.00020	36	0.27	0.03	0.41548E-01
0.00020	37	0.33	0.04	0.41548E-01	0.00020	38	0.37	0.03	0.41548E-01
0.00020	39	0.43	0.04	0.41548E-01	0.00020	40	0.47	0.03	0.41547E-01
0.00020	41	0.03	0.05	0.41488E-01	0.00020	42	0.07	0.04	0.41481E-01
0.00020	43	0.13	0.05	0.41482E-01	0.00020	44	0.17	0.04	0.41515E-01
0.00020	45	0.23	0.05	0.41481E-01	0.00020	46	0.27	0.04	0.41514E-01
0.00020	47	0.33	0.05	0.41482E-01	0.00020	48	0.37	0.04	0.41515E-01
0.00020	49	0.43	0.05	0.41481E-01	0.00020	50	0.47	0.04	0.41514E-01

GIRDAP AKIMLARI

ZAMAN	NO	X BİLESENİ	Y BİLESENİ	BİLESKE AKIM
0.00020	1	0.00000E+00	0.96574E-03	0.93266E-06
0.00020	2	0.00000E+00	-0.22128E-04	0.48966E-09
0.00020	3	0.00000E+00	0.42096E-05	0.17721E-10
0.00020	4	0.00000E+00	-0.67053E-06	0.44964E-12
0.00020	5	0.00000E+00	-0.98348E-05	0.96723E-10
0.00020	6	0.11325E-03	0.97707E-03	0.96749E-06
0.00020	7	-0.24177E-03	-0.16019E-04	0.58710E-07
0.00020	8	0.75288E-03	-0.51409E-05	0.56686E-06
0.00020	9	-0.39414E-03	-0.60350E-05	0.15538E-06
0.00020	10	-0.98877E-02	-0.66683E-05	0.97766E-04
0.00020	11	0.17434E-03	0.95289E-03	0.93840E-06
0.00020	12	-0.10207E-03	-0.20489E-05	0.10423E-07
0.00020	13	0.49099E-03	-0.13113E-04	0.24125E-06
0.00020	14	-0.10058E-03	0.83447E-05	0.10187E-07
0.00020	15	-0.98988E-02	0.11995E-04	0.97987E-04
0.00020	16	0.80839E-04	0.10282E-02	0.10637E-05
0.00020	17	-0.18179E-03	-0.28238E-04	0.33846E-07
0.00020	18	0.62510E-03	0.29802E-06	0.39075E-06
0.00020	19	-0.11511E-03	0.12107E-04	0.13397E-07
0.00020	20	-0.98873E-02	-0.35800E-04	0.97760E-04
0.00020	21	0.27195E-04	0.98877E-03	0.97840E-06
0.00020	22	-0.37998E-04	0.11176E-05	0.14451E-08
0.00020	23	0.66273E-03	-0.11543E-05	0.43921E-06
0.00020	24	-0.24289E-03	-0.67053E-06	0.58995E-07
0.00020	25	-0.98806E-02	-0.11352E-04	0.97626E-04
0.00020	26	0.58860E-04	0.00000E+00	0.34645E-08
0.00020	27	0.14864E-03	0.00000E+00	0.22094E-07
0.00020	28	0.18477E-03	0.00000E+00	0.34142E-07
0.00020	29	0.14901E-05	0.00000E+00	0.22204E-11
0.00020	30	-0.97670E-02	0.00000E+00	0.95394E-04

GIRDAP AKIMI KAYIPLARI

ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ	ZAMAN	NO	KAYIP YÖĞUNLÜĞÜ
0.00020	1	0.27183096E-05	0.00020	2	0.74926615E-12
0.00020	3	0.98130503E-15	0.00020	4	0.63180190E-18
0.00020	5	0.29235227E-13	0.00020	6	0.29251069E-05
0.00020	7	0.10771448E-07	0.00020	8	0.10041440E-05
0.00020	9	0.75445996E-07	0.00020	10	0.29869314E-01
0.00020	11	0.27518527E-05	0.00020	12	0.33950220E-09
0.00020	13	0.18187421E-05	0.00020	14	0.32426750E-09
0.00020	15	0.30004639E-01	0.00020	16	0.35357352E-05
0.00020	17	0.35799530E-08	0.00020	18	0.47715361E-06
0.00020	19	0.56089333E-09	0.00020	20	0.29865567E-01
0.00020	21	0.29914490E-05	0.00020	22	0.65259213E-11
0.00020	23	0.60283270E-05	0.00020	24	0.10876462E-07
0.00020	25	0.29783927E-01	0.00020	26	0.37507553E-10
0.00020	27	0.15253940E-08	0.00020	28	0.36426495E-08

KAYNAKLAR

- Akpınar, S. (1978). Transients and Ferroresonance in Transformers, First Year Report, Department of Electrical Engineering, University of Strathclyde, 63 pp.
- Aral, M.M. (1974). Finite Element Solutions of Selected Partial Differential Equations-Femac Computer Program, Middle East Technical University, Ankara, 99 pp.
- Aral, M.M. (1976). Konveksiyon Difüzyon Probleminin Sonlu Elemanlar Metodu İle Analizi, TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: TBAG-196 , 93 s.
- Boll, R. (1979). Soft Magnetic Materials, Thevacuumschmelze Handbook, Siemens Aktiengesellschaft-Heyden and Son LTD. 353 pp.
- Brauer, J.R. (1982). Finite Element Calculation of Eddy Currents and Skin Effects, IEEE Transactions on Magnetism, vol.mag.18, No.2, March, 504-509.
- Burais, N. and G. Grellet (1982). Numerical Modelling of Iron Losses in Ferromagnetic Steel Plate, IEEE Transactions on magnetism, vol.mag.18, No.2, March, 558-562.
- Chari, M.V.K. and P.P. Silvester (1980). Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems, John Wiley and Sons ltd., 219 pp.
- Chari, M.V.K. ,A. Konrad, M.A. Palmo and J.D'Angelo (1982). Three Dimensional Vector Potential Analysis for Machine Field Problems, IEEE Transactions on magnetism, vol.mag.18, No.2 March, 436-446.

- Davies, A.J. (1980). The Finite Element Method, A First Approach, Clarendon Press, Oxford, 209 pp.
- Garg, V.K. and J. Weiss(1986). Finite Element Solution of Transient Eddy-Current Problems in Multiply-Excited Magnetic Systems, IEEE Transactions on magnetics, vol.mag.22, No.5, September, 1257-1259.
- Ikeuchi, M., H.Niki and H.Kabayashi(1983). Finite Element Steady-State Solutions of the Traveling Magnetic Field Problem, IEEE transactions on magnetics, vol.mag.19, no.4, July, 1524-1529.
- Jufer, M. and A.Apostolides (1976). An Analysis of Eddy Current and Histeresis Losses in Solid Iron Based Upon Simulation of Saturation and Histeresis Characteristics, IEEE transactions on power apparatus and systems, vol.pas.95, No.6, Nov/Dec. 1786-1792.
- Kamar, A.M. (1983). Solution of Nonlinear Eddy Current Problems Using Residual Finite Element Method for Space and Time Discretisation, IEEE transactions on magnetics, vol.mag.19, No.5, September, 2204-2206.
- Karadeniz, A. (1983). Yüksek Matematik III, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 439 s.
- Lavers, J.D.(1983). Finite Element Solution of Nonlinear Two Dimensional Te-Mode Eddy Current Problems, IEEE transactions on magnetics, vol.mag.19, No.5. September, 2201-2203.
- Levi, E. (1984). Polyphase Motors-A Direct Approach To Their Design, John Wiley and Sons, Inc., 438 pp.
- McConnell, H.M. (1953). Eddy Current Phenomena in Ferromagnetic Materials, Technical Report No.14, Office of Naval Research Contract N7 on R 30306 and 30308, Project no 975-272 and 275, Cornegie Institute of Technology, Pitsburg, pa, Aug. 226-233.

- Mitchell, A.R. and R.Wait (1978). The Finite Element Method in Partial Differential Equations, John Wiley and Sons Ltd., 198 pp.
- Norrie, D.H. and G.Vries (1978). An Introduction To Finite Element Analysis, Academic Press, New York, 301 pp.
- Plonsey, R. and R.E.Collin (1961). Principles and Applications of Electromagnetic Fields, Mc Graw-Hill Book Company.
- Purcell, E.M. (1979). Elektrik ve Miknatıslık, Çev. Rauf Nasuh-oğlu, Senem Matbaası, Ankara, 369 s.
- Remson, I., G.M.Hornberger and F.J.Molz (1971). Numerical Methods in Subsurface Hydrology With An Introduction To the Finite Element Method, Wiley-Inter- Science, New York, 389pp.
- Silvester, P.P. and R.L. Ferrari (1983). Finite Element for Electrical Engineers, Cambridge University Press, 209 pp.
- Simpson, R.R, R.D.Slater and W.S.Wood (1973). Representation of Magnetisation Curves by Exponential Series, IEE, proc. vol.120, Aug. No.8, 902-904.
- Stanbury, H.J. (1985). An Industry-Based Standards System for the Measurement of Power Loss and Apparent Power of Electrical Sheet Steel, IEE proceedings, vol.132, Pt.A, No.3, May, 129-132.
- Stoll, R.L. (1974). The Analysis of Eddy Currents, Oxford University Press, 128 pp.
- Stratton, J.A. (1941). Electromagnetic Theory, McGraw-Hill Book Company.
- Swift, G.W. (1971). Power Transformer Core Behavior Under Transient Conditions, IEEE transactions, Pas.90, 2206-2210.

- Vecchio, R.M.D. (1982). The Inclusion of Hysteresis Processes in a Special Class of Electromagnetic Finite Element Calculations, IEEE transactions on magnetics, vol.mag.19, No.5, September, 275-284.
- Weiss, J., V.K.Garg and E.Strenheim (1983). Eddy Current Loss Calculation in Multiconductor Systems, IEEE transactions on magnetics, vol.mag.19, No.5, September, 2207-2209.
- Widger, G.F.T. (1969). Representation of the Magnetisation Curves Over Extensive Range by Rational Fraction Approximations, IEE proc. vol.116, no.1, Jan., 156-160.
- Zakrzewiski, K. and F.Piotras (1971). Method of Calculating the Electromagnetic Field and Power Losses in Ferromagnetic Materials- Taking Into Account Magnetic Hysteresis, IEE vol.118, No.11, November, 1679-1685
- Zienkiewicz, O.C. (1972). Introductory Lectures on the Finite Element Method, Courses and Lectures, No.130, international Centre for Mechanical Sciences, Udine.
- Zienkiewicz, O.C. (1977). The Finite Element Method, McGraw-Hill Book Company, London, 787 pp.

EK A. VARYASYONEL HESAP

Sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında kullanılan yaklaşım türlerinden birisi olan 'varyasyonel hesap' yada 'varyasyonel yaklaşım' yararlı olacağı düşüncesiyle burada ek bir bölüm olarak verilmeye çalışılmıştır. Daha geniş ve kapsamlı bilgi için, Zienkiewicz(1977), Norrie ve diğ.(1978), Mitchell ve diğ.(1977), Davies(1980), Chari ve diğ.(1980), Silvester ve diğ.(1983) ve Aral(1974) referanslarından yararlanılabilir.

Varyasyonel yöntemin uygulanabilmesi için sistemin 'Self adjoint' olması gerekir. Eğer sistem self adjoint değilse uygulanan yaklaşımlarla self adjoint hale dönüştürülür, Chari ve diğ.(1980). Burada self adjoint olma durumu incelenmeden varyasyonel hesabın bazı prensiplerinden bahsedilecektir.

Euler denklemleri kullanılarak diferansiyel denklemler ile varyasyonel integraller arasında bağıntı kurulabilir. Varyasyonel integraller ile belirlenen bilinmeyen fonksiyonlar bir fonksiyonel ile temsil edilirler. Varyasyonel hesapta bu fonksiyonelin ekstremum (minimum yada maksimum) edilebileceği durum araştırılır.

Bir R bölgesinde iki bağımsız değişkenli genel fonksiyonel

$$F(H) = \iint_R f(x, y, H, H_x, H_y) dx dy \quad (A.1)$$

olsun. Burada x ve y bağımsız değişken koordinatları,

$$H = H(x, y)$$

$$H_x = \frac{\partial H(x, y)}{\partial x}$$

$$H_y = \frac{\partial H(x,y)}{\partial y}$$

dir. Varyasyonel hesapta, doğal sınır koşullarını sağlayan ve $F(H)$ fonksiyonelinini minimize eden bir $H(x,y)$ fonksiyonuna ihtiyaç duyulur. Bu $H(x,y)$ fonksiyonu aynı zamanda Poisson denkleminin tek çözümüdür, Levi(1984).

$H(x,y)$ extremize edilen fonksiyondan çok az farklı ve küçük bir h parametresine bağlı olan $\bar{H}(x,y)$ karşılaştırma fonksiyonunun bulunduğu kabul edilsin. $h=0$ değerlerinde $\bar{H}(x,y)$ nin ifadesi

$$\bar{H}(x,y) = H(x,y) + \left. \frac{\partial \bar{H}}{\partial h} \right|_{h=0} \cdot h \quad (h \text{ in daha yüksek dereceli terimleri}) \quad (A.2)$$

bağıntısını verir. Birinci dereceden $\bar{H}(x,y)$ karşılaştırma fonksiyonunun genel biçimi,

$$\bar{H}(x,y) = H(x,y) + h \cdot p(x,y) \quad (A.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $p(x,y)$ diferansiyeli alınabilen sürekli bir fonksiyondur. (A.3) denkleminde de anlaşılabacağı gibi,

$$\delta H = h \cdot p(x,y) \quad (A.4)$$

terimi, $H(x,y)$ deki ilk değişim olarak $H(x,y)$ minimize fonksiyonu ile $H(x,y)$ arasındaki farktır. $H(x,y)$ nin δH kadarlık değişimlerinde (A.1) ile verilen $F(H)$ fonksiyonelinin değişmediği düşünülürse $H = \bar{H}$ için kabul edilebilir $\bar{H}$ fonksiyonuna göre varyasyonel integralin sabit hali tarif edilmiş olur. (A.4) ile verilen $\delta H = h \cdot p$ kabul edilebilir bir değişim olmak üzere $H(x,y)$ deki değişim (A.3) ile temsil edilir. Bu değer (A.1) de yerine konulursa, fonksiyonele ait integraldeki değişim için,

$$F(h) = F(H + hp) = \iint_R f(x,y, H+hp, H_x+hp_x, H_y+hp_y) dx dy \quad (A.5)$$

R

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

bağıntısı elde edilir.

$F(0)$, F fonksiyonelinin minimum bir değeri ize, $H(x,y)$ fonksiyonundaki değişime bağlı olarak F deki değişim,

$$\Delta F = F(h) - F(0) \geq 0 \quad (A.6)$$

olur. $h=0$ dolaylarında $F(h)$ açılırsa,

$$F(h) = F(0) + \left. \frac{dF(h)}{dh} \right|_{h=0} \cdot h + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2 F(h)}{dh^2} \right|_{h=0} h^2 + (h \text{ in daha yüksek kuvvetleri}) \quad (A.7)$$

elde edilir. (A.6) denklemini sağlaması için

$$\left. \frac{dF(h)}{dh} \right|_{\varepsilon=0} = 0 \quad (A.8)$$

olmalıdır. Burada ε negatif bir sayı olabilir. F in ilk değişiminin

$$\delta F = \left. \frac{dF}{dh} \right|_{h=0} \quad (A.9)$$

olacağını (A.8) denkleminden görmek mümkündür. Böylece, $H(x,y)$ fonksiyonu için gerekli koşul (A.1) deki fonksiyonel integralini minimize etmek için $\delta F=0$ ile verilir.

(A.1) integral denkleminin bir minimize fonksiyon olmasında $H(x,y)$ için gerekli koşullar (A.5) ve (A.9) denklemlerinden elde edilebilir.

$$\delta F = \left. \frac{dF}{dh} \right|_{h=0} \cdot \varepsilon = \iint_R \left[\frac{\partial f}{\partial \bar{H}} \frac{\partial \bar{H}}{\partial h} + \frac{\partial f}{\partial \bar{H}_x} \frac{\partial \bar{H}_x}{\partial h} + \frac{\partial f}{\partial \bar{H}_y} \frac{\partial \bar{H}_y}{\partial h} \right] (h \text{ in daha büyük kuvvetleri}) \Big|_{h=0} h \, dx \, dy$$

buradan,

$$\delta F = \left. \frac{dF}{dh} \right|_{h=0} = \iint_R \left[\frac{\partial f}{\partial \bar{H}} \delta \bar{H} + \frac{\partial f}{\partial \bar{H}_x} \delta \bar{H}_x + \frac{\partial f}{\partial \bar{H}_y} \delta \bar{H}_y + (h \text{ in daha yüksek kuvvetleri}) \right] dx \, dy \quad (A.10)$$

elde edilir. Bu denklemdeki ikinci ve üçüncü terimler Green teoremi kullanılarak elemine edilebilir. Böylece (A.10) denklemi,

$$\delta F = 0 = \iint_R \left[\frac{\partial f}{\partial H} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial H_x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial H_y} \right) \right] \delta H \, dx dy$$

$$+ \oint_1 \left(\frac{\partial f}{\partial H_x} \cos \theta + \frac{\partial f}{\partial H_y} \sin \theta \right) \delta H \, dl \quad (A.11)$$

halini alır.. Burada, θ , çevre elemanı dl nin normal n ile x arasındaki açı, l ise R bölgesinin çevresidir.

δH keyfi bir değişim olduğundan, $F(H)$ ı minimize eden H için gerekli koşullar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

a) Euler-Lagrange denklemi

$$\frac{\partial f}{\partial H} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial H_x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial H_y} \right) = 0 \quad (A.12)$$

b) Dirichlet sınır koşulu

$$\delta H = 0 \quad (A.13)$$

c) Homojen Neuman sınır koşulu

$$\left(\frac{\partial f}{\partial H_x} \cos \theta + \frac{\partial f}{\partial H_y} \sin \theta \right) \Big|_1 = 0 \quad (A.14)$$

Poisson denklemi durumunda fonksiyonel H_x ve H_y de ikinci derecedendir. Bu durumda (A.14) denklemi,

$$\frac{\partial H}{\partial n} \cdot n \Big|_1 = 0 \quad (A.15)$$

olur. $F(H)$ fonksiyonunun minimize edilmesinde $H(x,y)$ için yeterli koşullar,

$$\delta^2 F = \frac{d^2 F}{dh^2} \Big|_{h=0} \geq 0 \quad (A.16)$$

dir. Böylece A(12), (A13) ve (A.15) denklemleri ile verilen koşulları sağlayacak olan $H(x,y)$ fonksiyonu (A.1) denklemindeki

$F(H)$ integralinin minimize fonksiyonu olacaktır. Başka bir deyişle (A.1) deki $F(H)$ integralini minimize eden $H(x,y)$ fonksiyonu (A.12), (A.13) ve (A.15) denklemleri ile verilen koşulları sağlayacaktır.

Bir

$$F(H) = \iint_R \left[\left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right)^2 - 2 H g(x,y) \right] dx dy \quad (A.17)$$

fonksiyonel integralinin minimize fonksiyonu onun Euler-Lagrange denklemine ait tek çözümü olan

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + g(x,y) = 0 \quad (A.18)$$

Poisson denklemdir.

A.1. Fonksiyonelin Minimizasyonu

Daha önce de belirtildiği gibi varyasyonel yöntemle yapılan sonlu elemanlar analizinde fonksiyonelin minimize edilmesi başlıca problemi oluşturmaktadır. Fonksiyonelin minimize edilmesinde en çok uygulanan yöntem, Rayleigh-Ritz yöntemi olup, Zienkiewicz(1977), Davies(1980), Norrie ve diğ.(1978), Mitchell ve diğ.(1977), burada da yalnızca bu yöntemin açıklanması yeterli görülmüştür.

Rayleigh - Ritz yöntemine göre $H(x,y)$

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^n N_i(x,y) H_i(t) \quad (A.19)$$

şeklinde doğrusal bir kombinezon olarak ifade edilirse, Poisson denkleminin tek çözümü olduğundan, $F(H)$ integralinin $H(x,y)$ minimize fonksiyonu da tektir. (A.19) ifadesinde

N_i : x ve y koordinatlarına bağlı bir fonksiyon

$H_i(t) : H(x,y)$ nin belli noktalardaki değerleridir.

Bu durumda extremum,

$$\frac{\partial F}{\partial H_i} = 0 \quad (A.20)$$

ile verilir. (A.19) denklemi, (A.17) de yerine konursa,

$$F(H) = \iint_R \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\sum N_i H_i \right)^2 + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sum N_i H_i \right)^2 - 2g \sum N_i H_i \right] dx dy \quad (A.21)$$

olur. Bir üçgen elemanda $i=1,2,3$ köşe noktaları olmak üzere

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^3 N_i H_i = N_1(x,y)H_1(t) + N_2(x,y)H_2(t) + N_3(x,y)H_3(t) \quad (A.22)$$

yazılıp (A.21) de kullanılırsa,

$$F(H) = \iint_R \left[\left(H_1 \frac{\partial N_1}{\partial x} + H_2 \frac{\partial N_2}{\partial x} + H_3 \frac{\partial N_3}{\partial x} \right)^2 + \left(H_1 \frac{\partial N_1}{\partial y} + H_2 \frac{\partial N_2}{\partial y} + H_3 \frac{\partial N_3}{\partial y} \right)^2 - 2g (H_1 N_1 + H_2 N_2 + H_3 N_3) \right] dx dy \quad (A.23)$$

elde edilir. Burada önce birinci ve ikinci terimlerin kareleri daha sonra da (A.20) bağıntısına göre bütün $F(H)$ denkleminin H_1 e göre türevi alınır

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(H)}{\partial H_1} = & 2H_1 \left(\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} \right) + 2H_2 \left(\frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_2}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_2}{\partial y} \right) \\ & + 2H_3 \left(\frac{\partial N_1}{\partial x} \frac{\partial N_3}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} \frac{\partial N_3}{\partial y} \right) - 2g N_1 = 0 \end{aligned} \quad (A.24)$$

bulunur. Bu denklem de kısaca,

$$\frac{\partial F(H)}{\partial H_1} = 2H_1 S_{11} + 2H_2 S_{12} + 2H_3 S_{13} - 2K_1 = 0 \quad (A.25)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece bir üçgen elemanın 1 nolu köşesine ilişkin minimize denklemi x, y koordinatlarının fonksiyonu olan ve Bölüm 3.4. de açıklanan şekil fonksiyonları $N(x, y)$ lere bağlı olarak ifade edilmiş olur. Bu (A.25) denklemi sıfıra eşit olduğundan 2 ler yok edilebilir. Üçgen elemanın üç köşesi için üç bilinmeyen H_1, H_2 ve H_3 değeri bulunduğu, bilinmeyen sayısı kadar denklem elde etmek gerekir. Bu nedenle $F(H)$ fonksiyoneli sırasıyla H_1 e göre yapılarak benzer şekilde, H_2 ve H_3 için ed minimize edilirse aşağıdaki denklem sistemi elde edilmiş olur.

$$\frac{\partial F(H)}{\partial H_1} = S_{11}H_1 + S_{12}H_2 + S_{13}H_3 - K_1 = 0$$

$$\frac{\partial F(H)}{\partial H_2} = S_{12}H_1 + S_{22}H_2 + S_{23}H_3 - K_2 = 0$$

(A.26)

$$\frac{\partial F(H)}{\partial H_3} = S_{31}H_1 + S_{32}H_2 + S_{33}H_3 - K_3 = 0$$

Bu denklemlerden,

$$\frac{\partial F(H)}{\partial H_i} = S_{ii}H_i + S_{ij}H_j + S_{ik}H_k - K_i = 0 \quad (A.27)$$

genellemesi yapılabilir. Böylece (A.26) denklemleri matris biçiminde

$$\begin{bmatrix} S_{ii} & S_{ij} & S_{ik} \\ S_{ji} & S_{jj} & S_{jk} \\ S_{ki} & S_{kj} & S_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_i \\ H_j \\ H_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i \\ K_j \\ K_k \end{bmatrix} \quad (A.287)$$

olarak yazılır. Burada bir eleman için,

$$S_{ij}^e = \iint_R \left(\frac{\partial N_i^e}{\partial x} \frac{\partial N_j^e}{\partial x} + \frac{\partial N_i^e}{\partial y} \frac{\partial N_j^e}{\partial y} \right) dx dy \quad (A.29)$$

$$K_i^e = \iint_R g N_i^e dx dy \quad (A.30)$$

genelleştirilmesi yapılabilir. (A.28) ile verilen matrisleri kısaca,

$$[S] [H] = [K] \quad (A.31)$$

şeklinde kısaltmak mümkün olup, burada

$[S]$: x, y koordinatlarına bağlı bir katsayı matrisi

$[K]$: x, y koordinatlarına bağlı bir katsayı matrisi

$[H]$: Üçgen elemanın köşe noktalarında t ye bağlı fonksiyon değerlerini içeren ve çözüm sonucu hesaplanacak olan vektör matristir.

$[S]$ ve $[K]$ matrisleri (A.29) ve (A.30) denklemlerinden hesaplanıp, (A.28) de kullanılarak bilinmeyen $[H]$ değerleri bulunur. Burada verilen (A.28) ve (A.31) denklem sistemi birtek üçgen eleman için yazılmıştır. Çalışma bölgesi birden fazla sonlu üçgen elemana bölünürse $[S]$ ve $[K]$ matrislerine ek terimler gelir. Örneğin bir j noktası Şekil:A.1. deki gibi n adet üçgen elemanı birleştiriyorsa, bu noktada her eleman için bir tane olmak üzere, eleman sayısı kadar N şekil fonksiyonu elde edilir. Bu nedenle de (A.29) ve (A.30) bağıntılarına göre $i=j$ durumunda $[S]$ ve $[K]$ matrislerine ilişkin elemanlar ya,

$$S_{ij}^e = S_{ij}^{e_1} + S_{ij}^{e_2} + \dots + S_{ij}^{e_n} \quad (i=j) \quad (A.32)$$

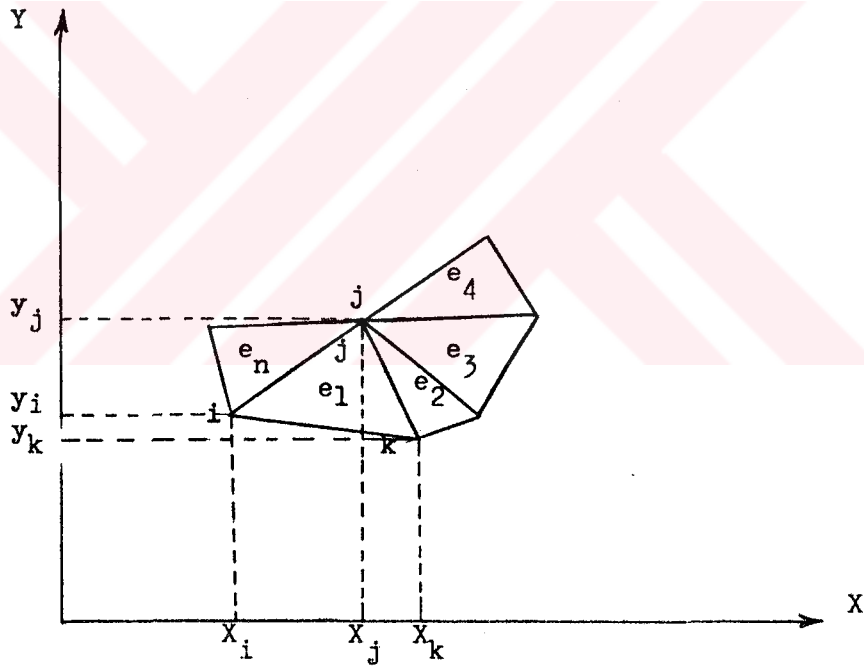
$$K_j^e = K_j^{e_1} + K_j^{e_2} + \dots + K_j^{e_n} \quad (\text{A.33})$$

olarak hesaplanır, ya da her üçgen eleman için $S^{e_1}, S^{e_2}, \dots, S^{e_n}$ ve $K^{e_1}, K^{e_2}, \dots, K^{e_n}$ şeklinde matrisler hesaplanıp, sonra da bunlar

$$[S] = [S] + [S] + \dots + [S] \quad (\text{A.34})$$

$$[K] = [K] + [K] + \dots + [K] \quad (\text{A.35})$$

şeklinde birleştirilerek (A.31) ile verilen denklem sistemindeki $[S]$ ve $[K]$ matrisleri elde edilir.



Şekil:A.1. Bir j noktasını çevreleyen üçgen elemanlar.

EK B. DİĞER AĞIRLIKLI RESİDÜAL YÖNTEMLERİ

Ağırlıklı residüal yöntemleri daha önce Bölüm:3.2. de genel olarak anlatılmış, ancak bu tez çalışmasında kullanılmadıkları için Galerkin yaklaşımının kullanıldığı ağırlıklı residüal yöntemi dışındakiler açıklanmamıştı. Varyasyonel hesap yönteminin verilme nedeni gibi, yararlı olacağı düşünülmesiyle, bu tezde kullanılmamalarına rağmen, ağırlıklı residüal yönteminin diğer yaklaşım türleri de ek bilgi olarak burada verilecektir.

B.1. Yerel Nokta Yöntemi

Bu yöntem sadece çalışma bölgesi içindeki n noktalarında residüalin sifıra eşitlendiği bir yöntemdir, Zienkiewicz(1972 ve 1977).

Bu yöntemde, $x = x_j$ ve $y = y_j$ için,

$$w_j = \delta_j \quad (B.1)$$

dir. Başka noktalarda ise,

$$w = 0 \quad (B.2)$$

şeklinde, fakat,

$$\int_R w_j dR = I \quad (B.3)$$

dir. Burada I birim matristir.

B.2. İç Bölge Yöntemi

Bu yöntemde fonksiyonun geçerli olduğu R bölgesinde

$$W_j = I \quad (B.4)$$

ve diğer yerlerde

$$W_j = 0 \quad (B.5)$$

dır.

B.3. En Küçük Kareler Yöntemi

En küçük kareler yönteminde, asıl denklemi meydana getiren residüallerin kareleri toplamı, EK A.1. de anlatılan fonksiyonelin minimizasyonuna benzer bir işlemle minimize edilir. (3.14) ifadesinin (3.4), (3.9) ve (3.10) denklemlerinde kullanılmasıyla H_i ye bağlı olarak elde edilen residüal denklemleri,

$A(H)$	yerine	$A(H_i) = A_i$	R bölgesinde
$C(H)$	yerine	$C(H_i) = C_i$	S_1 sınırında
$D(H)$	yerine	$D(H_i) = D_i$	S_2 sınırında

olsun. En küçük kareler yönteminin tarifine göre bunların karelerinin toplamı

$$G(H_i) = G_i = \int_R A_i^2 dR + \int_{S_1} C_i^2 dS_1 + \int_{S_2} D_i^2 dS_2 \quad (B.6)$$

olur. İşte bu yöntemde yapılan, bu ifadenin yani, $G(H_i)$ nin minimize edilmesidir. Bu minimize işlemi ise, n elemanın köşe

sayısını göstermek üzere, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ için

$$\frac{\partial G(H_i)}{\partial H_i} = \frac{\partial G_i}{\partial H_i} = 0 \quad (B.7)$$

şeklinde H_i lere göre alınan türevlerin sıfıra eşitlenmesi ile yapılır. Bu işlem yapılırsa (B.6) denkleminde

$$\frac{\partial G_i}{\partial H_i} = \int_R 2A_i \frac{\partial A_i}{\partial H_i} dR + \int_{S_1} 2C_i \frac{\partial C_i}{\partial H_i} dS_1 + \int_{S_2} 2D_i \frac{\partial D_i}{\partial H_i} dS_2 \quad (B.8)$$

elde edilir. Burada W_j ağırlık fonksiyonları,

R bölgesinde,

$$W_j = \frac{\partial A_i}{\partial H_i} = \frac{\partial A(H_i)}{\partial H_i} \quad (B.9)$$

S_1 sınırında

$$W_j = \frac{\partial C_i}{\partial H_i} = \frac{\partial C(H_i)}{\partial H_i} \quad (B.10)$$

S_2 sınırında

$$W_j = \frac{\partial D_i}{\partial H_i} = \frac{\partial D(H_i)}{\partial H_i} \quad (B.11)$$

olarak alınır. Bu durumda en küçük kareler yönteminde genel çözüm denklemi,

$$\frac{\partial G_i}{\partial H_i} = \int_R 2A_i W_j dR + \int_{S_1} 2C_i W_j dS_1 + \int_{S_2} 2D_i W_j dS_2 \quad (B.12)$$

şeklinde olur. Bu denklemin sıfıra eşit olduğu düşünülürse, (3.15) denklemi ile aynı denklem olduğu sonucu çıkar. Buna göre, (3.15) denkleminde ağırlık fonksiyonu W_j , R bölgesinde (B.9) daki gibi, S_1 sınırında (B.10) daki gibi, S_2 sınırında ise (B.11) daki gibi alınır. Bu denklemlerdeki A_i , C_i ve D_i değerlerinin elde edilişleri Bölüm 4 de verilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

İsmail Hakkı Altaş, 12 Ocak 1961 tarihinde Erzurum'un İspir ilçesinde doğdu. İlkokulu burada Kirazlı Köyü İlkokulunda, ortaokulu Rize Lisesi Orta Kısımında, liseyi ise Rize Endüstri Meslek Lisesinde tamamladı ve burada elektrik bölümü teknisyeni olarak çalışmaya başladı. Rize Meslek Yüksek Okulu Makina Resmi Ve Konstrüksiyonu Bölümüne devam etmek için 1981 yılında işten ayrıldı. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Bölümüne girdi ve buradaki lisans eğitimini 1985 yılında tamamladı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesinde Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü Araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi