

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PENCERE TİPİ BİR TRANSFORMATÖRDE KAÇAK
AKI DAĞILIMININ DENEYSEL VE SAYISAL
YÖNTEMLERLE ANALİZİ**

İsmail BOZKURT
(Teknik Öğretmen, M.Sc.)

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. Fevzi KENTLİ**

İSTANBUL 2005

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

**PENCERE TİPİ BİR TRANSFORMATÖRDE KAÇAK AKI
DAĞILIMININ DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE
ANALİZİ**

İsmail Bozkurt'un Pencere Tipi Bir Transformatörde Kaçak Akı Dağılımının DeneySEL ve Sayısal Yöntemlerle Analizi isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Eğitimi Programında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Fevzi KENTLİ (Marmara Ün.v.)
Üye : Prof.Dr.İrfan GÜNEY (Marmara Ün.v.)
Üye : Prof.Dr.Ahmet DERNEK (Marmara Ün.v.)
Üye : Doç.Dr.Özcan KALENDERLİ (İ.T.Ü)
Üye : Yrd.Doç.Dr.Füsün SERTELLER (Marmara Ün.v.)
Tezin Savunulduğu Tarih :

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile İsmail BOZKURT'UN Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik EĞİTİMİ Programında Doktora (Dr, PhD.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Elektrik enerjisinin günümüz uygarlığının temeli olmasının nedeni, diğer enerji türlerine dönüşebilmesindeki ve uzak mesafelere taşınabilmesindeki büyük kolaylıktır. Elektrik enerjisi mekanik, ısı, kimyasal ve ışınsal enerjiye yüksek verimle ve her miktarda kolayca dönüşebilir.

Transformatörlerin ve elektrik makinalarının temel büyüklüğü akıdır ve incelemeleri genellikle akı kavramına dayanır. Düzenli dağılımda magnetik akı (ϕ), akı yoğunluğu (B) ile akılara dik olan yüzey alanının (A) çarpımı olarak tanımlanır. Akı ölçer ile akı doğrudan ölçülebilir. Transformatör ve elektrik makinalarının incelenmesi, önce akı dağılımının bulunması ile başlar. Bu dağılımda akılar çeşitli gruplara ayrılır. Bu grupta yer alan “kaçak akılar” transformatörlerin ve elektrik makinalarının teorisinde önemli bir rol oynar.

Bu çalışmada 2 ayrı yöntem (Sonlu elemanlar, Sonlu Farklar yöntemi) kullanılarak kaçak akı hesaplanmış, kaçak akı dağılımının çizimi gerçekleştirilmiş ve bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Konunun seçiminden itibaren, çalışmanın her aşamasında teşvik edici, sıcak ve yakın ilgisinden dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fevzi KENTLİ’ye en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca çalışmanın gerçekleşmesi sırasında aydınlatıcı tavsiye ve yönlendirmeleriyle çalışmanın biçimlenmesine katkıda bulunan Marmara Üniversitesi Rektör Yardımcısı Prof. Dr. İrfan GÜNEY’e, Marmara Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Başkanı Prof. Dr. Ahmet DERNEK’e, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Özcan KALENDERLİ’ye ve deney transformatörünün yapımında yardımlarını esirgemeyen Sönmez Trafo A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Ümit SÖNMEZ’e teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2005

İsmail BOZKURT

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
YENİLİK BEYANI.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XIV
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
I.1 GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
 BÖLÜM II. MAGNETİK ALAN.....	 4
II.1. Magnetik Temel Kavramlar ve Temel Büyüklükler.....	4
II.1.1. Magnetik Alan.....	4
II.1.2. Magnetik Endüksiyon.....	5
II.2. Magnetik Devreler.....	7
II.2.1. Demirin Magnetik özellikleri.....	7
II.2.2. Magnetik Devre Tipleri.....	10
II.3. Elektromagnetik Endüksiyon.....	14
II.3.1. Transformasyon ve Hareket Endüksiyonları.....	14
II.3.2. Lenz Kanunu.....	16

II.3.3.Endüksiyon Kanunu.....	18
BÖLÜM III. MATEMATİKSEL TEMEL KAVRAMLAR.....	25
III.1. Matematiksel Modeller.....	25
III.1.1. Fiziksel Matematik Denklemlerinin Temelleri.....	28
III.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	30
III.2.1. Çözüm Bölgesinin Sonlu Elemanlara Bölünmesi.....	30
III.2.2. Sonlu Elemanlar İle Hesap Yapabilmek İçin Temel Denklemlerin Yazılımı.....	32
III.2.3. Sonlu Elemanların Birleştirilmesi.....	39
III.2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Transformatörlerde Alan Dağılımının çözümü.....	42
III.2.5. Denklemlerin Elde Edilmesi.....	42
III.3. Sonlu Farklar Yöntemi.....	49
III.3.1. Magnetik Alan Problemlerinin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü.....	52
III.3.2. Lineer Problemlerin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü.....	52
III.3.3. Lineer Olmayan Problemlerin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü..	54
III.3.4. Sonlu Fark Denklemlerinin Çözüm Yöntemleri.....	56
III.4. Magnetik Alan Problemlerinde Akı Çizgilerinin Çizilmesi.....	60
BÖLÜM IV. DENEY TRANSFORMATÖRÜNÜN VE ÖLÇÜ BOBİNLERİNİN TASARIMI.....	63
IV.1. Deney Transformatörünün Tasarımı.....	63
IV.2. Ölçü Bobinlerinin Tasarımı.....	72

BÖLÜM V. DENEYİN YAPILIŞI.....	75
---------------------------------------	-----------

V.1. Deneyin Yapılışı.....	75
-----------------------------------	-----------

BÖLÜM VI. MODEL TRANSFORMATÖRÜN KAÇAK AKI DAĞILIMININ SAYISAL YÖNTEMLERLE BULUNMASI.....	94
---	-----------

VI.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Uygulanması.....	94
--	-----------

VI.1.1. Bacaktan 5,5 cm yüksekliğindeki yüzey için yapılan örnek hesaplama.....	94
--	-----------

VI.2. Sonlu Farklar Yönteminin Uygulanması.....	106
--	------------

VI.2.1. Bacaktan 5,5 cm yüksekliğindeki yüzey için yapılan örnek hesaplama.....	106
--	------------

BÖLÜM VII. KAÇAK AKI DAĞILIMININ ÇİZİMİ VE KARŞILAŞTIRILMASI.....	128
--	------------

BÖLÜM VIII . SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	149
--	------------

KAYNAKLAR.....	153
-----------------------	------------

Ek 1.....	159
------------------	------------

Ek 2.....	165
------------------	------------

ÖZET

Transformatörler faraday yasasının doğrudan uygulamasıdır. Bir güç transformatörü magnetik devre, sargılar, izolatörler, soğutma radyatörleri ve vantilatörler ile birlikte karmaşık bir yapıya sahiptir. Hareket eden elektrik yükleri vektörel bir büyüklük olan magnetik alan oluşturur. Bütün magnetik olayların tek nedeni hareket eden yüklerdir. Akının geçişini kolaylaştırmak amacıyla magnetik malzemeden yapılan devreye magnetik devre denir. Transformatörlerin ve diğer elektrik makinalarının temel büyüklüğü akıdır ve incelenmeleri genellikle akı kavramına dayanır.

Bir sargı ile halkalandıktan sonra diğer sargıya gitmediği için “kaçak akı” adı verilen akıların çoğu, magnetik devre dışında magnetik direnci çok büyük olan uzun bir yol gittiklerinden genellikle zayıftırlar. Kaçak akı, primer ve sekonder sargılarda ayrı ayrı oluşur ve halkalandığı sargıda indükleme yapar. Böylece $\Theta_1 = N_1 I_1$ tarafından oluşturulan birincil kaçak akı ($\Phi_{1\sigma}$) ve $\Theta_2 = N_2 I_2$ tarafından oluşturulan ikincil kaçak akı ($\Phi_{2\sigma}$) olmak üzere iki ayrı kaçak akı vardır.

Bu çalışmada amaç önce pencere tipi bir transformatörün kaçak akı değerlerini ölçü bobinleri ile ölçerek kaçak akı dağılımını çıkartmak, sonra kaçak akı değerlerini sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi ile de hesaplayarak akı dağılımını elde etmek, daha sonra sonuçları birbirleriyle karşılaştırıp ölçüm sonuçlarını referans alarak ölçüm değerlerine en yakın sonucu veren yöntemi tespit etmektir.

Bu çalışmada; Bölüm I’de kaçak akılar tanıtılarak konuya giriş yapılmış ve bu çalışmada hedeflenen amaçlar ortaya konmuş, bunun için yapılacak işlemlere yer verilmiştir. Bölüm II’de magnetik alanla ilgili temel büyüklükler ve bu konuya ilişkin yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş, daha sonra Bölüm III’de sayısal hesaplama yöntemleri olan “sonlu elemanlar” ve “sonlu farklar yöntemleri” incelenmiş ve bu yöntemlerin akı dağılımı ile ilgili uygulanmalarına yer verilmiştir.

Bölüm IV’de deneysel çalışmada kullanılacak olan deney transformatörüne ilişkin hesaplamalar, yapımı ve kaçak akı değerlerini ölçmek için hazırlanan ölçü

bobinlerinin hazırlanışı ve konumları açıklanmış, daha sonra Bölüm V’de deneysel çalışmalardan elde edilen ölçüm sonuçlarına yer verilmiştir. Bölüm VI’da matematiksel yöntemlerin bu çalışmadaki akı dağılımına uygulanması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemleri kullanarak kaçak akı değerlerini hesaplayabilmek için 1521x1521’lik matris çözümü gerçekleştirilmiş, Microsoft Excel programı kullanılarak polinom şeklinde matematiksel denklem elde edilmiş ve bu denklem kullanılarak akı değerleri hesaplanmıştır. Bölüm VII’de ölçüm sonuçlarına göre ve sonlu elemanlar yöntemi ile sonlu farklar yöntemi kullanılarak yapılan hesaplama sonuçlarına göre çizilen kaçak akı dağılımları verilmiştir.

Bölüm VIII’de elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların ışığında öneriler ortaya konmuştur. Sonuç bölümünde ölçüm değerleri referans alınarak yapılan karşılaştırmada, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçların ölçüm değerlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Büyük güçlü transformatörlerdeki kaçak akı dağılımlarını elde edebilmek için kaçak akı sondaları ile belirli noktalarda (sınır değerlerinde) ölçüm yaparak o transformatöre ait kaçak akı dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemi ile gerçek değerlere yakın olarak bulabiliriz.

Mayıs 2005

İsmail BOZKURT

ABSTRACT

Operation Principles of transformers are based on Faraday's Law. A power transformer consists of magnetic circuit, windings, insulators, cooling panels, ventilators and has a very complex structure. Active electric charges produce magnetic field which is a vectoral size. The only reason of magnetic phenomenon is the charges. Magnetic field is a vectoral field. To make flux travel easier, we use a magnetic circuit which is made of magnetic material. One of the Basic size of electric machine is flux and the most researches are generally based on it.

Most of the fluxes called leakage fluxes which are the one changes its way after linking with a winding are very weak because they follow a very long magnetically high resisted way out of magnetic circuit. Leakage flux produces separately in primary and secondary windings separately and induces at the winding where it goes. Therefore, there are two types of leakage flux. The one is the primary leakage flux $\Phi_{1\sigma}$ presented by formula $\Theta_1 = N_1 I_1$ and the other is the secondary leakage flux $\Phi_{2\sigma}$ presented by formula $\Theta_2 = N_2 I_2$.

The aims of this study are to show the leakage flux distribution by measuring the leakage flux value of shell type transformers with measuring coils and also obtaining flux distribution by using finite element (FEM) and finite difference method (FDM) and to determine the method which gives the closest value to measure values by comparing these results that based on references.

In this thesis, an introduction to leakage flux has been done by giving information about magnetic field, the target of this thesis have been put forward and studies to achieve these aims have been expressed in chapter I. Basic subjects related to magnetic field and researches about this subject have been studied. FEM and FDM have been shortly explained and in chapter III Turkish and foreign journals about these subjects have been introduced.

First, transformer for the experiment and measuring coils which will be used to measure leakage flux have been prepared. In chapter IV, studies related to this

subject have been explained. In chapter V, results of measurements from have been given experiments. In chapter VI, mathematical applications of these methods had been done. 1521 by 1521 matrix has been solved to calculate the leakage flux value by using these methods and analysis has been done. Then by using Ms Excel Spread polonium equation has been formed and by using this equation flux values have been calculated. In the chapter VII, according to the experimental results and calculated values by FEM and FDM leakage flux distributions have been given. By comparison done it has been figured out that calculations done by FEM give the closest result to the one obtained by measurements out of other methods.

In the chapter VIII, suggestions have been put forth for consideration in the light of gathered results. By comparing with reference to the measured values, It has been handled that the results obtained by FEM are more closer to the measured values than the other. By making measurements with the leakage flux sensors in a specific points in order to obtain the leakage flux distribution for high power transformers, leakage flux distribution belonging to that transformer could be found close to real values with the FEM.

May 2005

İsmail BOZKURT

YENİLİK BEYANI

PENCERE TİPİ BİR TRANSFORMATÖRDE KAÇAK AKI DAĞILIMININ DENEYSEL VE SAYISAL YÖNTEMLERLE ANALİZİ

Transformatörler uygulanan gerilimin frekansını ve (yaklaşık olarak) uygulanan gücü sabit tutarak gerilim ve akımı bir başka değere dönüştüren elemanlardır. Elektrik enerjisini üretildiği yerden kullanıldığı yere taşırken hattaki kayıpları azaltmak için yüksek gerilimler kullanmak gerekir. Elektrik akımları daima bir magnetik alan oluştururlar . Transformatörün primer sargısından dolaşan elektrik akımının oluşturduğu magnetik alanın büyük bir kısmı sekonder sargılarını keserken. akının bir kısmı da sekonder sargıya ulaşmadan devresini (N'den S'e ulaşımını) havadan tamamlar. Bu tür akılara kaçak akılar adı verilmektedir.

Bu doktora tez çalışmasında, transformatörlerdeki kaçak akı dağılımlarının ölçülerek belirlenmesindeki güçlükler nedeniyle matematiksel modellemeler kullanılarak doğru sonuca daha kısa sürede ulaşmaya çalışılmıştır. Kullanılan bu matematiksel modellemeler ile gerçek sonuçlara daha yakın kaçak akı alan dağılımları elde edilebilmektedir. Transformatörün belirli noktalarından ölçüm yapılarak transformatöre ait kaçak akı dağılımı bu modellemelerle gerçeğe yakın olarak bulunabilmektedir.

Bu çalışmada, transformatörün sekonder bacağında oluşan kaçak akıların dağılımı primer akımının 2 ayrı değişik değeri ve 8 ayrı yükseklik için incelenmiştir. Bacağın belirli yüksekliklerinde kaçak akı değerleri ölçü bobinleri ile ölçülerek kaçak akı dağılımları çizilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak da kaçak akı değerleri yeniden hesaplanmış ve bu yöntemlerden elde edilen verilerden faydalanılarak kaçak akı dağılımları yeniden çizilmiştir. Bu çalışma sonucunda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen kaçak akı alan dağılımlarının, ölçüm sonucu elde edilen kaçak akı alan dağılımına daha yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada sonlu farklar yöntemi için Excel Office programının iterasyon özelliği kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve bu hesaplama yöntemi ile sonuca daha kısa sürede ulaşıldığı görülmüştür.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil 2.1. Mıknatıs Çeşitleri.....	4
Şekil 2.2. Magnetik Alanın Herhangi Bir Noktadaki Yönü.....	6
Şekil 2.3. B-H Eğrisi.....	9
Şekil 2.4. Basit İki Magnetik Devre(a) teroid (b) bir fazlı transformatör devresi.....	10
Şekil 2.5. Kollara Ayrılan Bir Magnetik Devre ve Elektriksel Benzeri.....	13
Şekil 2.6. Endüksiyon Olayının İncelenebilmesi için Kurulan Düzenek.....	15
Şekil 2.7. Hareket Endüksiyonu.....	16
Şekil 2.8. ϕ Akısının Artış veya Azalışına Göre i akımının ve e emk'sının yönü.....	17
Şekil 2.9. Sağ El Kaidesinin uygulanişı.....	17
Şekil 2.10. Magnetik alan içinde alan yönü ile α açısı yaparak hareket eden bir İletken.....	21
Şekil 2.11 . Magnetik Alana Dik ab İletkeni.....	22
Şekil 2.12. Bir Fazlı Transformatörün Prensip Şeması.....	23
Şekil 3.1. Bölgenin Ayrıklaştırılması	30
Şekil 3.2. Bir Boyutlu Sonlu Eleman	31
Şekil 3.3. İki Boyutlu Sonlu Eleman Örnekleri	31
Şekil 3.4. İki Boyutlu Pascal Üçgeni.....	33
Şekil 3.5. e adlı bir üçgen elemanın x-y kartezyen koordinat sisteminde gösterilişi. (1-2-3) düğüm numaralarının sıralanışı saat ibresinin tersi yöndedir.....	35
Şekil 3.6. Üçgen elemanlı sonlu eleman ağ parçası.....	40
Şekil 3.7. Üçgen elemanın silindirik koordinatlardaki konumu.....	43
Şekil 3.8.. Tek simetri eksenli dörtgen ağ bloğu.....	52
Şekil 3.9. Düzgün ağ olmayan ağ bloğu.....	54
Şekil 3.10 16 noktalı dikdörtgen bölge.....	57
Şekil 3.11. Bir üçgen elemandan geçen vektörel eşpotansiyel çizgi.....	62
Şekil.4.1. Transformatör yapımında kullanılacak olan transformatör sacının yaklaşık mıknatıslama eğrisini elde etmek amacıyla oluşturulan deney bağlantı şeması.....	64
Şekil.4.2. Transformatör yapımında kullanılacak olan transformatör sacının mıknatıslama eğrisi.....	66
Şekil 4.3. Deney transformatörünün boyutlandırılmış ve ölçü bobinleri konumlandırılmış pespektif görüntüsü.....	67

Şekil.4.4. Kare Şeklinde Hazırlanmış Ölçü Bobini.....	72
Şekil.4.5. Ölçü bobinlerinin kolay sarılması için hazırlanmış ağaç kalıp.....	73
Şekil 4.6 Ölçü Bobinlerinin monte edileceği Kartonun Konumu.....	73
Şekil.4.7. Üzerine ölçü bobinleri yerleştirilmiş kartonun transformatör bacağı üzerindeki konumu.....	74
Şekil.5.1. Deney Bağlantı şeması.....	76
Şekil.6.1. Ölçü bobinlerinin kartom üzerine yerleşimi.....	95
Şekil.6.2. Bilgisayar programı kullanılarak 3232 üçgene elemana bölünmüş yüzeyin durumu.....	96
Şekil 6.3 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 5.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	97
Şekil 6.4 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 6.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	98
Şekil 6.5 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 7.5 cm yükseklikteki akı dağılımı	99
Şekil 6.6 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 8.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	100
Şekil 6.7 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 9.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	101
Şekil 6.8 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 10.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	102
Şekil 6.9 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 11.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	103
Şekil 6.10 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 12.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I=2, 1A$).....	104
Şekil 6.11 Bacaktan 12.5 cm yükseklikteki (23.7; 29.1) koordinatlarına ait akı büyüklükleri.....	105
Şekil 7.1. Örnek hesaplama için kaçak akı dağılımı.....	130
Şekil 7.2. Ölçü bobinlerinin numaralandırılmış konumu (a) transformatör üzerinde (b) karton üzerinde.....	130-131
Şekil.7.3. Ölçüm sonuçlarına göre 0,3864 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	132

Şekil.7.4. Ölçüm sonuçlarına göre 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	133
Şekil.7.5. Ölçüm sonuçlarına göre 0,5628 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,54 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	134
Şekil.7.6. Ölçüm sonuçlarına göre 0,651 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,93 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	135
Şekil.7.7. Ölçüm sonuçlarına göre 0,7392 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,33 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	136
Şekil.7.8. Ölçüm sonuçlarına göre 0,827 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,73 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	137
Şekil.7.9. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,298 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,34 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	138
Şekil.7.10. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,386 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	139
Şekil.7.11. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	140
Şekil.7.12. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,562 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,53 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	141
Şekil.7.13. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,65 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,93 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	142
Şekil.7.14. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,738 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,32 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	143
Şekil.7.15. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,826 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,72 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	144
Şekil 7.16. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,3864 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	145

Şekil 7.17. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	146
Şekil 7.18. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,5628 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,54 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	147
Şekil 7.19. Ölçüm değerleri, sonlu elemanlar, sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.....	148
Şekil Ek 2.1 Deneyde kullanılan Transformatörün fotografik görünüşü.....	165
Şekil Ek 2.2 Enerji kaynağı olarak kullanılan senkron generatör ve tahrik motorunun fotografik görünüşü.....	166
Şekil Ek 2.3 Tahrik motoruna sabit gerilimli enerji sağlayan servomotor kumandalı regülatör ve d.a.güç kaynağı elemanlarının (varyak, redresör ve filitrenin) fotografik görünüşü.....	167

TABLolar LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo 4.1. Ölçülen primerAkım ve sekonder Gerilim Değerleri.....	64
Tablo 4.2. Hesaplanan B ve H değerleri.....	65
Tablo 5.1. Ölçü bobinlerinin numaralandırılmış konumları ve sınır değer ölçü bobinlerinin x-y koordinatlarındaki konumları.....	77
Tablo 5.2. 2,1A için Bacaktan 5,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	78
Tablo 5.3. 2,1A için Bacaktan 6,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	79
Tablo 5.4. 2,1A için Bacaktan 7,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	80
Tablo 5.5. 2,1A için Bacaktan 8,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	81
Tablo 5.6. 2,1A için Bacaktan 9,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	82
Tablo 5.7. 2,1A için Bacaktan 10,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	83
Tablo 5.8. . 2,1A için Bacaktan 11,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri...	84
Tablo 5.9. 2,1A için Bacaktan 12,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	85
Tablo 5.10. 4A için Bacaktan 5,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	86
Tablo 5.11 4A için Bacaktan 6,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	87
Tablo 5.12. 4A için Bacaktan 7,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	88
Tablo 5.13. 4A için Bacaktan 8,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	89
Tablo 5.14. 4A için Bacaktan 9,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	90
Tablo 5.15. 4A için Bacaktan 10,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	91
Tablo 5.16. 4A için Bacaktan 11,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	92
Tablo 5.17. 4A için Bacaktan 12,5 cm Yüksekliğindeki eş potansiyel değerleri.....	93
Tablo 6.1. Yüksekliklere göre sınır düğümünün Koordinatları (Tablo 5.1'deki konuma göre).....	110
Tablo 6.2 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 5.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	112
Tablo 6.3. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 6.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	113
Tablo 6.4. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 7,5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	114
Tablo 6.5. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 8.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	115

Tablo 6.6. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 9.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	116
Tablo 6.7. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 10.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	117
Tablo 6.8 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 11.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	118
Tablo 6.9. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacaktan 12.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	119
Tablo 6.10. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 5.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	120
Tablo 6.11. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 6.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	121
Tablo 6.12. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 7.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	122
Tablo 6.13. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 8.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	123
Tablo 6.14. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 9.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	124
Tablo 6.15. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 10.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	125
Tablo 6.16. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 11.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	126
Tablo 6.17. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 12.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri.....	127
Tablo 7.1. Belirlenen akı çizgilerine karşılık gelen eş potansiyel değerleri.....	129
Tablo 7.2. 0,671mV'luk eş potansiyel çizginin üzerinden geçtiği koordinatlar.....	129

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1 GİRİŞ

Bilindiği gibi transformatörler uygulanan gerilimin frekansını değiştirmeden ve gücü de yaklaşık sabit tutarak bir gerilim değerini veya akımı başka bir gerilim değerine veya akıma dönüştürme işlevini yerine getirirler. Bu dönüştürme işlevinin yerine getirilebilmesi için primer ve sekonder adları verilen sabit iki ayrı sargıya ve bu sargılarla halkalanan ortak bir akıya ihtiyaç vardır. Bu ortak akı, sekonder sargıdan akım çekmiyorken primer amper-sarımı tarafından, sekonder sargıdan akım çekiyorken ise primer ve sekonder amper-sarımlarının bileşkesi olarak ortaya çıkar. Primer ve sekonder sargılar sadece faydalı akı da denilen bu ortak akıyı üretmekle kalmayıp her sargı yolunu kendi üzerinden havadan tamamlayan ve kaçak akı adı verilen akıları da üretir. Kaçak akılar primer ve sekonder sargılardan her biri ile halkalanır. Böylece iki ayrı kaçak akı doğmaktadır. Bunlar $\Theta_1 = N_1 I_1$ primer amper-sarımı tarafından oluşturulan $\Phi_{1\sigma}$ primer kaçak akısı ve $\Theta_2 = N_2 I_2$ sekonder amper-sarımı tarafından oluşturulan $\Phi_{2\sigma}$ sekonder kaçak akısıdır. Primer kaçak akısı transformatörün boşa ve yükte çalışmasında, sekonder kaçak akısı ise sadece yükte çalışmasında yer alır.

Akılar devrelerini daima magnetik direnci en az olan yoldan tamamladıkları için hava üzerinden dolaştıkları yolun magnetik direnci saç üzerinden dolaştıkları yolun magnetik direncinden daha büyük olduğu an akıda kırılmalar başlamaktadır. Bu nedenle bu akılar genellikle zayıftırlar ve pratik olarak faydalı akının %5'i kadarıdır. Ancak bu azlığa rağmen kaçak akılar transformatörün çalışmasında çok önemli bir rol oynamaktadır [1].

Kaçak akının doğru hesaplanabilmesi kaçak endüksiyon alanının bulunmasını gerektirir. Transformatörlerde kaçak alan dağılımının bilinmesi

1) Endüktansların, 2) Sargılara uygulanan kuvvetlerin, 3) Sargılarda ve demir kısımlarda oluşan ek kayıpların hesaplanabilmesi için zorunludur.

Duran ve döner tip elektrik makinalarında akı dağılımının ve magnetik alana ilişkin büyüklüklerin belirlenmesi için analog veya sayısal yöntemler kullanılabilir. Analog yöntemlerin zorlukları ve yetersizlikleri sayısal yöntemle aşılabılır. Günümüzde kaçak alan hesaplamaları için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları sonlu farklar yöntemi ile sonlu elemanlar yöntemidir. Sonlu farklar yöntemi, kısmi türevli denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Başlangıcı C.F. Gauss'a (1777-1855) kadar uzanan bu yöntem, 1940'lardan sonra yaygın hale gelmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi, fiziksel matematiğin sınır değer problemlerine yaklaşık çözümler elde etmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yöntem yaklaşık altmış yıllık bir geçmişe sahiptir. Yöntem ilk olarak 1940'lı yıllarda önerilmiş, 1950'li yıllarda uçak tasarımında kullanılmaya başlanmıştır. Bundan sonra yöntem, sürekli olarak geliştirilmiş ve başta yapı analizi ile ilgili problemler olmak üzere pek çok alandaki probleme uygulanmıştır. Yöntem elektromagnetik alan problemlerine ilk olarak 1963'de uygulanmıştır.

I.2 AMAÇ

Çalışmada pencere tipi bir transformatörün kaçak akı dağılımı ve bunun denklemleri bu iki yöntemle incelenmekte ve yöntemler birbirleriyle karşılaştırılmaktadır. Bu amaçla transformatörün hem primer, hem de sekonder sargılarının üzerine ve bobin eksenine dik gelecek şekilde kartonlar üzerine milimetrik kareler şeklinde yerleştirilmiş ölçü bobinleri konulmuştur. Bu ölçü bobinlerinde indüklenen gerilimler akıya dönüştürülerek yukarıda adı geçen yöntemler yardımıyla her iki yöntem için akı dağılımı ve denklemleri elde edilmiştir.

Magnetik alan problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yönteminde, magnetik akı yoğunluğunun sayısal çözümünü elde etmek için verilen alan bölgesi, sonlu küçük elemanlardan oluşan bir ağ ile bölünerek bu ağın düğümlerindeki vektörel magnetik potansiyelleri hesaplanmaktadır.

Bir elektromagnetik alanda veya bir akışkanlar alanında potansiyelin dağılımı ile ilgili çeşitli problemlere rastlanır. Bu problemlerin çoğunda sonlu farklar yöntemindeki Poisson denklemi olarak bilinen ve bu denklemin önemli bir şekli olan Laplace denklemi adı verilen bir diferansiyel denklem kullanılır. Laplace denklemi

ile ifade edilen sınır koşullarını hem iletken içindeki potansiyel dağılımı ve hem de akım hatlarını tek bir çözümle ifade etmek mümkündür.

Çözüm için, analitik metot, grafik metot, yumuşatma tekniği ve deneysel metot olarak bilinen metotlardan biri kullanılabilir. Alan problemlerinin yumuşatma metodu ile çözümünde yapılan temel yaklaşım, B sınırı ile çevrilmiş sürekli alan yerine yine aynı sınırla çevrili küçük karelere ayrılmış bir şekil koymaktır. Daha sonra, B sınırlı alan içindeki her noktada tarif edilen ve $v(x,y)$ fonksiyon terimleri ile ifade edilen Laplace denklemini çözme yerine ağda yer alan noktalarda fonksiyonun değeri bulunur. Bu noktalar, ağdaki karelerin köşeleri üzerinde alınır ve bu karelere "sonlu fark ızgarası" da denilmektedir. Bazen kare yerine üçgen de kullanılmaktadır. Ağdaki noktaların sayısı artırılarak ve her noktadaki değer bulunarak daha doğru bir sonuç elde edilebilir. Deneysel verilerin analizi ile ilgili problemlerden biri bu verilerin analitik formüllerle temsilini gerektirmektedir. Bu bakımdan (x_i, y_i) gibi gözlenmiş bir değer çiftleri takımını kesin veya yaklaşık olarak $y = f(x)$ şeklinde bir analitik bağıntı ile temsil etmeye çalışmak doğaldır. Böyle bir analizde sonlu farklar kavramı son derece önemlidir.

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ olmak üzere (x_i, y_i) gibi değer çiftleri takımını gözönüne aldığımızda, bu değer çiftleri x-y düzleminde birer nokta ile temsil edilebilir. Bu noktaların sayısının $n+1$ tane olduğu açıktır. y_{i+1} ve y_i , ardışık ordinat çiftlerinin farklarını oluşturursak; bu farklar kısaca

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots, (n-1)$$

şeklinde formüleleştirilebilir. Daha açık olarak yazılırsa,

$$\Delta y_0 = y_1 - y_0, \Delta y_1 = y_2 - y_1, \Delta y_2 = y_3 - y_2, \dots, \Delta y_{n-1} = y_n - y_{n-1}$$

olur. Bu farkların sayısının n tane olduğu açıktır. Yukarıda tanımlanan sonlu farklara y' lerin ileriye doğru birinci farkları denir, y' lerin ileriye doğru ikinci farkları ise

$$\Delta^2 y_i = y_{i+2} - 2y_{i+1} + y_i, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots, (n-2)$$

şeklinde tanımlanır. Daha genel olarak y' lerin ileriye doğru k ' nıncı farkları

$$\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots, (n-k)$$

olarak tanımlanır. Bu farklardan faydalanarak deneyden elde edilen akı dağılımlarının denklemleri çıkartılabilmektedir [2].

BÖLÜM II

MAGNETİK ALAN

II.1 Magnetik Temel Kavramlar ve Temel Büyüklükler

II.1.1. Magnetik Alan

Magnetik olaylara ait ilk gözlemler doğada rastlanan bir demir filizinin demir parçacıklarını çekme özelliğini göstermesi ile ilgilidir. Magnetizma terimi de bu filizin eski Manisa şehri civarında bulunmasından ileri gelmektedir. Magnetik özellik gösteren bu filizden yapılan ibre, çubuk, at nalı, vs. biçimindeki parçalara doğal mıknatıs adı verilir. Yer küresi de doğal bir mıknatıstır ve magnetik pusula üstünde yaptığı yöneltici etki eskiden beri bilinmekte ve bu etkiden denizcilikte faydalanılmaktadır [3].



Şekil 2.1 Mıknatıs Çeşitleri

On dokuzuncu yüzyılın başlarına kadar magnetik olaylar ile ilgili bilgiler sadece bu mıknatıslar hakkında bilinenlerden ibaretti ve elektriksel olaylar ile magnetik olaylar arasında her hangi bir bağıntı kurulamamıştır. 1820 yılında Oersted bir telden akım geçirildiğinde bu telin civarına yaklaştırılan bir mıknatıs ibresinin

saptığını gördü. Bu önemli gözlemin sonucu olarak elektrik akımlarının da tıpkı mıknatıslar gibi magnetik etkiler meydana getirdiği anlaşıldı.

Bir mıknatısın veya içinden akım geçen bir telin civarında görülen magnetik etkiler ortamın özel bir durumda bulunduğunu gösterir. Bu durumu belirtmek için mıknatısların veya tellerin civarında bir magnetik alanın meydana geldiği söylenir.

Bilindiği gibi elektrik akımı yüklü parçacıkların hareketinden meydana gelir. Örneğin, madenler içinde bu parçacıklar serbest elektronlardır. Buna dayanarak yüklü parçacıklar hareket ettiğinde bir magnetik alanın meydana geleceği söylenilebilir. Elektrik alanı hem duran hem de hareket eden yükler tarafından meydana getirildiği halde, magnetik alan sadece hareket halindeki parçacıklar tarafından meydana getirilebilir.

Elektrik alanı içinde bulunan duran veya hareket eden bir elektrik yüküne bir elektriksel kuvvet etkir. Buna karşılık magnetik alan içinde bulunan bir yük ancak hareket ettiğinde bir magnetik kuvvetin etkisi altında kalır [4].

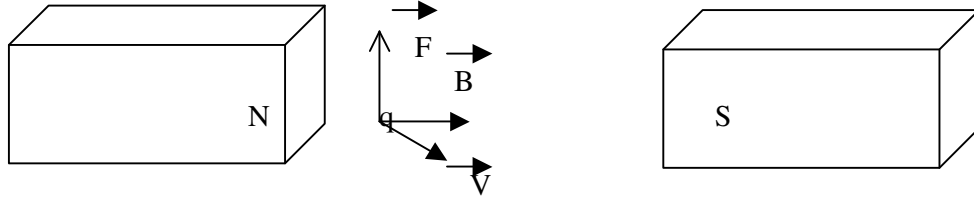
II.1.2. Magnetik Endüksiyon

Elektrik alanı ile magnetik alan arasında önemli farklar vardır.

1. Elektrik alanı duran elektrik yükleri tarafından meydana getirilebildiği halde magnetik alanı sadece hareket eden yükler meydana getirmektedir.
2. Elektrik alanı duran yüklere kuvvet etkisi yaptığı halde magnetik alan sadece hareket eden yüklere kuvvet etkisi yapabilmektedir. Magnetik alan da elektrik alanı gibi bir kuvvet alanıdır, dolayısıyla her noktada bir değeri, doğrultusu ve yönü olacaktır.
3. Magnetik alan da elektrik alanı gibi vektörel bir büyüklüktür.

Her noktada aynı değerde ve yönde olan magnetik alana düzgün (üniform) alan adı verilir. Örneğin aralarındaki uzaklık fazla olmayan ve birbirine bakan geniş bir yüzeye sahip iki mıknatıs kutbu arasındaki magnetik alana düzgün bir alan gözüyle bakılabilir. Şekil 2.2’de böyle bir magnetik alanın herhangi bir noktadaki yönü, bu noktaya getirilen bir pusulanın kuzey kutbunun baktığı yön olarak tarif edilir. Dolayısıyla kutuplar arasındaki magnetik alanın yönü kuzey kutuptan güney kutbuna doğrudur. Şekilde bu yön sağa yönelen bir okla belirtilmiştir. Şimdi bu alan

içine pozitif q yükünü soktuğumuzu ve bu yüke magnetik kuvvetten başka herhangi bir kuvvetin etkmediğini kabul edelim. Eğer bu yük alan yönüyle α açısını yapan bir v hızıyla hareket ederse magnetik kuvvetin [5]



Şekil 2.2 Magnetik Alanın Herhangi Bir Noktadaki Yönü

B , q , v ve $\sin\alpha$ ile orantılı olduğu görülür. Bu durumda q yüküne etkiyen magnetik kuvvet,

$$F = Bqv \sin \alpha \quad (\text{N}) \quad (2.1)$$

olur. Bu kuvvetin doğrultusu hem hız doğrultusuna, hem de alan doğrultusuna diktir. Kuvvetin yönü ise, sol el kuralı denilen bir kural yardımı ile bulunur. Bu kurala göre, avuç içi N kutbuna bakacak ve açık olan dört parmak yükün hareket yönünü gösterecek şekilde tutulan sol elin baş parmağı kuvvetin yönünü gösterir. Kuvvet $\sin\alpha$ ile orantılı olduğundan hareketin doğrultusu alan yönüne paralel olduğunda, yani $\alpha = 0$ ve $\alpha = 180^\circ$ için sıfır olacaktır. Buna karşılık hareket yönü alan yönüne dik olursa, yani $\alpha = 90^\circ$ için kuvvet maksimum değerini alır. Böylece, $F_{\max} = Bqv$ dir. Herhangi bir α değeri için B 'nin değeri

$$B = \frac{F}{qv \sin \alpha} \quad (\text{T}) \quad (2.2)$$

dir. Magnetik endüksiyonun MNS sistemindeki (SI standartlarındaki) birimi Vs/m^2 veya Tesla'dır ve T harfi ile gösterilir (CGS sistemindeki birimi Gauss (G) idi ve $10^4 \text{ G} = 1 \text{ T}$ 'dir).

Herhangi bir noktadaki magnetik endüksiyona, değeri yukarıdaki denklemlle bulunan, yönü ise alanın yönünü gösteren bir vektör gözüyle bakılabilir. Bu vektörü $\vec{B}$ şeklinde göstererek yükte oluşan kuvvet.

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (\text{N}) \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem kuvvetin hem değerini, hem de yönünü verir. Magnetik kuvvet daima hareket önüne dik olduğundan bu kuvvetin göreceği iş sıfırdır. Çünkü q yükü $\vec{ds}$ uzaklığı kadar gidince $\vec{F}$ kuvveti $dA = \vec{F} \cdot \vec{ds}$ işini görecektir. Ancak $\vec{F}$ ile $\vec{ds}$ birbirine dik olduğundan skaler çarpım sıfırdır [6].

Şayet q yüküne magnetik alana ek olarak başka bir elektrik alanı daha etkiyorsa, bileşke kuvvet

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (\text{N}) \quad (2.4)$$

olur. Buna Lorentz kuvveti denilir.

II.2. MAGNETİK DEVRELER

II.2.1. Demirin Magnetik Özellikleri

Elektrik makinalarının, (transformatörlerin) ve birçok ölçü aletinin en önemli parçalarının demir ve demir alaşımlarından yapıldığı bilinmektedir. Bunun nedeni demir ve demir alaşımlarının magnetik özellik bakımından diğer madenlerden farklı olmasıdır.

Magnetik özellik bakımından maddeleri üç gruba ayırmak mümkündür. Bağlı (relatif) magnetik geçirgenlikleri $\mu_r < 1$ olan maddelere diyamagnetik $\mu_r > 1$ olan maddelere ise paramagnetik adı verilir. Örneğin hidrojen, bakır, gümüş, su gibi maddeler diyamagnetik gruba girerken hava, alüminyum gibi maddeler paramagnetik gruba girerler. Ancak iki gruptaki maddelerin bağlı magnetik geçirgenlikleri 1'den çok az farklı olduğundan hesaplamalarda $\mu_r = 1$, ($\mu_r = \mu_o$) alınabilir. Teknik bakımdan önemli olan üçüncü grup ise ferromagnetik maddeler grubudur. Demir ve alaşımları ile nikel ve kobalt bu gruba girerler. Ferromagnetik gruptaki maddelerde bağlı magnetik geçirgenlik 1'den çok yüksek olan değerler alabilir ve magnetik alanın değerine bağlı olarak magnetik histerezis gösterirler [3].

Ferromagnetik maddelerde magnetik geçirgenlik malzemenin cinsine, magnetik alanın değerine ve malzemeye daha önce uygulanan magnetik işlemlere bağlıdır. Ancak magnetik geçirgenlik ile bağlı olduğu alan şiddeti arasındaki bağıntıyı gösteren sabit bir matematiksel ifade bulunmadığından bu bağıntı ya tablo şeklinde veya bir eğri şeklinde belirtilir. Pratikte μ ile H arasındaki bağıntıyı tablo veya bir eğri ile gösterme yerine daha ziyade B ile H arasındaki bağıntı, tablo şeklinde veya eğri şeklinde verilir. Bu eğrilere mıknatıslanma eğrisi veya kısaca B-H eğrisi adı verilir. B-H eğrisini çizebilmek için malzemeden örneğin halka şeklinde bir örnek hazırlayıp üstüne yerleştirilen iki sargıdan birini uyarma sargısı kabul edip bu sargıdan akım geçirerek mıknatıslamak gerekir. Bu örnek halkanın ortalama uzunluğu l ile, sarım sayısını N ile gösterilirse, I akımı için magnetik alan şiddet;

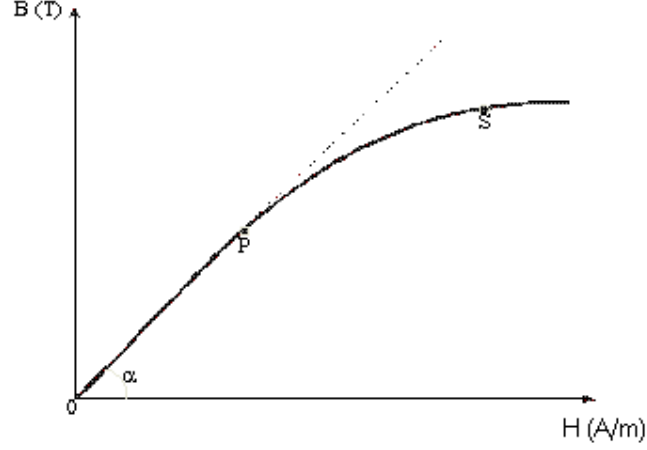
$$H = NI / l \quad (\text{A/m}) \quad (2.5)$$

olur.

Başlangıçta $H = 0$ için $B = 0$ olduğu kabul edildiğinden bu eğriye ilk mıknatıslanma eğrisi adı da verilir. Her ferromagnetik malzemenin bu eğriye benzeyen özel bir mıknatıslanma eğrisi vardır. Şekil 2.3’de tipik bir B-H eğrisi görölmektedir.

B-H eğrisinin herhangi bir P noktasındaki magnetik geçirgenlik $\mu = B/H$ şeklinde hesaplanır ve bu değer OP doğrusunun yatay eksenle yaptığı α açısının tanjantı ile orantılıdır. Orantı katsayısı B ve H için kullanılan ölçeklere bağlıdır.

O’ dan çizilen teğetin eğriye değdiği noktada α açısı ve dolayısıyla magnetik geçirgenlik maksimum olur. Şekilde μ ile H arasındaki bağıntıyı gösteren eğri görölmektedir. Çok küçük H ve B değerleri için $\mu = (dB/dH)$ şeklinde bulunan magnetik geçirgenliğe başlangıç magnetik geçirgenliği veya diferansiyel magnetik geçirgenlik denir ve herhangi bir noktadan çizilen teğetin yatay eksenle yaptığı açının tanjantı ile orantılıdır. Başlangıç geçirgenliği, küçük alan değerleri ile çalışan zayıf akım tekniği için önemlidir. Magnetik geçirgenlik $\mu_{\max}$ değerinden sonra azalarak asimptotik olarak μ_0 değerine ($\mu_r = 1$) yaklaşır [7].



Şekil 2.3. B-H Eğrisi

B-H eğrisi incelendiğinde, birbirinden ayrı özellik taşıyan 3 ana bölgeden oluştuğu görülür. Bunlar;

- 1) α açısının ve μ 'nün sabit ve yüksek değerde olduğu lineer bölge (O-P arası),
- 2) α açısının ve μ 'nün sürekli değiştii kararsız bölge (dirsek bölgesi) (P-S arası),
- 3) α açısının ve μ 'nün yaklaşık sabit kaldığı ve düşük değerde oldukları bölge (S den sonrası).

Eğrinin yatıklaştığı bölgede endüksiyonu biraz artırmak için alan şiddetinde büyük artış yapmak gerekmektedir. Çünkü bu bölgede ferromagnetik malzeme doyuma ulaşmıştır. Doyma bölgesinde çalışıldığı taktirde uyarma sargısından geçirilen akımlar daha yüksek ve dolayısıyla uyarma sargısının boyutları daha büyük olacaktır. Bu nedenden dolayı elektrik makinasında endüksiyon değeri doyma bölgesinin altında tutulur. Belli bir H için boşluk (hava) içindeki endüksiyon

$$B_0 = \mu_0 H \quad (2.6)$$

dır. Eğer boşluk yerine bir ferromagnetik malzeme gelirse endüksiyon yükselerek

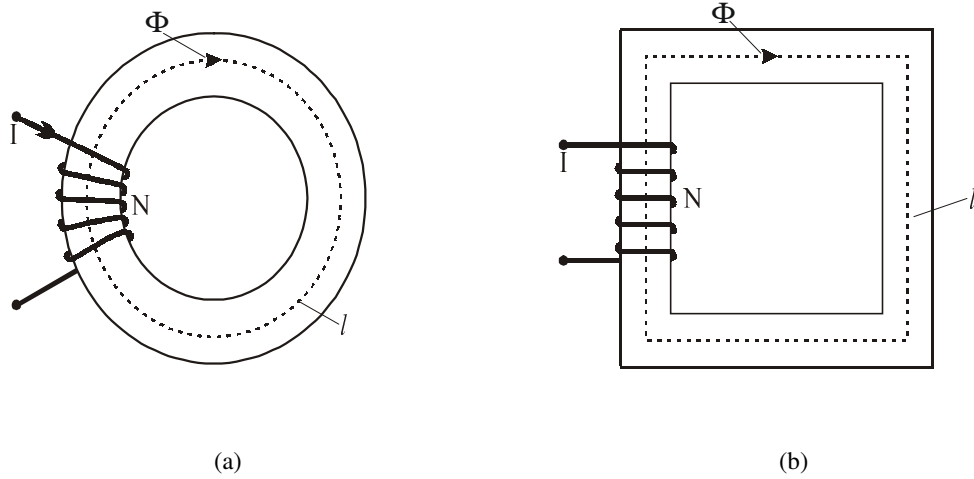
$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (2.7)$$

değerini alır [8].

II.2.2. Magnetik Devre Tipleri

Endüksiyon, ferromagnetik malzemelerde havaya kıyasla çok daha büyük olduğundan pratik olarak endüksiyon çizgilerinin demir içinde kaldığı söylenebilir. Aynı zamanda endüksiyon çizgileri kapalı olduğundan çizgilerin ferromagnetik malzemeler içinden geçtiği kısımlara magnetik devre adı verilir.

Şekil 2.4.'de iki basit magnetik devre görülmektedir. Kesiti ve malzemesi her yerede aynı olan magnetik devreye basit adı verilir. Soldaki devre bir toroid devresi, sağdaki devre ise bir fazlı transformatörde rastlanan bir magnetik devre tipidir [9].



Şekil 2.4. Basit iki magnetik devre (a) toroid devre, (b) bir fazlı transformatör devresi

Uyarma sargılarının sarım sayıları N ile, endüksiyon çizgilerinin ortalama uzunlukları l ile, magnetik devrelerin kesitlerini ise A ile gösterirsek, Φ akısı için

$$\Phi = BA \quad (2.8)$$

yazılabileceğinden, (2.5) ve (2.7) birlikte düzenlenirse,

$$B = \mu NI / l = \mu \theta / l \quad (2.9)$$

olur. (2.9) ifadesi (2.8)'de yerine konursa,

$$\Phi = \frac{\theta}{l/\mu A} \quad (2.10)$$

elde edilir [10]. (2.10)'da

$$\frac{l}{\mu A} = R_m \quad (2.11)$$

denilirse (2.10)

$$\Phi = \frac{\theta}{R_m} \quad (2.12)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem basit bir elektrik devresi için

$$I = E/R \quad (2.13)$$

denkleminde benzerdir.

Elektrik devresinde akımın sebebi emk'i olduğu gibi, magnetik devrede de akımın sebebi θ mmk dir. Bu benzerliğe dayanarak R_m 'ye magnetik direnç veya relüktans adı verilir. Relüktansın birimi (1/Henry) $1/H^{-1}$ dir. Relüktansın tersine, yani

$$G_m = \frac{1}{R_m} \quad (2.14)$$

büyükliğüne magnetik iletkenlik veya permeans denir ve birimi H'dır (2.12) denkleminde magnetik devrenin "Ohm Kanunu" adı verilir. Diğer yandan bu denklem Amper kanununu gösteren

$$\theta = Hl \quad (2.15)$$

denkleminde

$$H = B / \mu = \Phi / \mu A \quad (2.16)$$

koyarak da elde edilebilir [10].

Elektrik ve magnetik devreler arasındaki benzerlik fiziksel bir benzerlik değildir, ve sadece denklemlerin şekli bakımından yapılan bir benzetidir. Aralarında iki önemli fark vardır. Akım bir elektron hareketi olup dinamik bir olay olduğu halde, magnetik akının herhangi bir şeyin hareketi ile ilgisi yoktur ve dolayısıyla statik bir olaydır. Akımın devamlı olabilmesi için sürekli olarak enerjinin harcanması gerektiği halde, magnetik akının devamını sağlamak için bir enerji harcanmayıp akının meydana gelmesi için bir enerji harcanır. Ancak uyarma sargısının direncinden dolayı bu dirençte harcanan enerjinin üreteç tarafından karşılanması gerekir [3].

Ferromagnetik malzemelerde magnetik geçirgenlik μ ve dolayısıyla R_m ve G_m alanın fonksiyonudurlar.

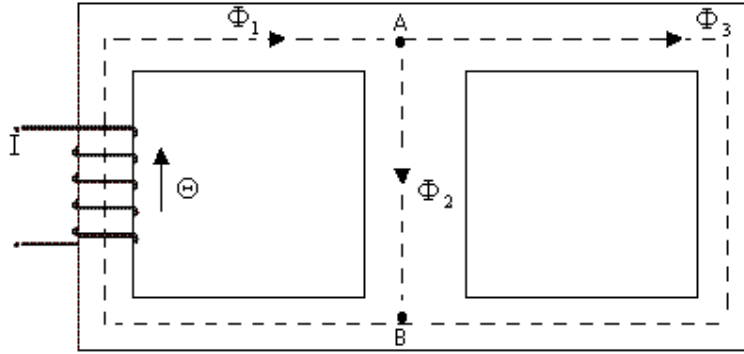
Şekil 2.5’de kollara ayrılmış magnetik bir devre ve elektriksel benzeri görülmektedir. Bu tip fiziksel yapıya bir fazlı transformatörlerin mantel tipinde ve üç fazlı transformatörde rastlanır. Bu tip magnetik devrelere seri-paralel devre adı verilir [10]. Elektrik devresinde A ve B düğümleri için yazılan $I_1 = I_2 + I_3$ şeklindeki Kirşof akım denklemi gibi magnetik devrede de A ve B magnetik düğümleri için

$$\phi_1 = \phi_2 + \phi_3 \quad (2.17)$$

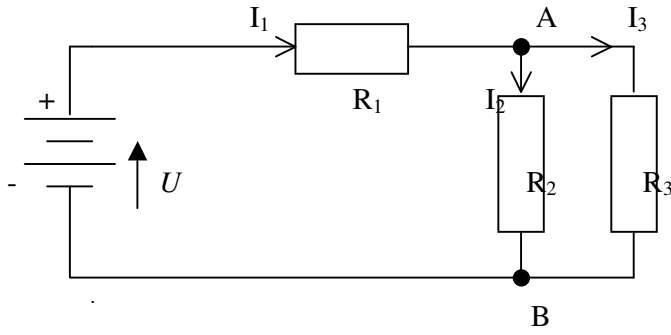
yazılabilir. Yani bir magnetik düğüme gelen akıların toplamı bu düğümden giden akıların toplamına eşittir. Gelen akıları pozitif, gidenleri ise negatif kabul edersek, örneğin A düğümü için

$$\phi_1 - \phi_2 - \phi_3 = 0 \quad (2.18)$$

yazılabilir. Bu denklem Kirşof akımlar kanununun magnetik benzeridir.



(a)



(b)

Şekil 2.5 Kollara ayrılan iki gözlü bir (a) magnetik devre, (b) bu magnetik devrenin elektriksel benzeri

Şayet ortalama uzunlukları l_1 , l_2 , l_3 olan kolların relüktansları R_{m1} , R_{m2} , R_{m3} ile gösterilirse şekil 2.5.a'da belirtilen pozitif çevre yönleri ve pozitif akı yönleri için

$$\theta = R_{m1}\phi_1 + R_{m2}\phi_2 \quad (2.19)$$

$$0 = R_{m3}\phi_3 - R_{m2}\phi_2 \quad (2.20)$$

denklemleri yazılabilir. Bu denklemler elektrik devresindeki çevreler için yazılan

$$U = R_1 I_1 + R_2 I_2 \quad (2.21)$$

ve

$$0 = R_3 I_3 - R_2 I_2 \quad (2.22)$$

denklemlerinin magnetik benzeridir.

$$R_M \phi = Hl \quad (2.23)$$

olduğunu gözönüne alarak (2.20) ve (2.21) tekrar düzenlenirse,

$$\theta = H_1 l_1 + H_2 l_2 \quad (2.24)$$

$$0 = H_3 l_3 - H_2 l_2 \quad (2.25)$$

olur. Yukarıdaki bağıntılar Kirşof gerilimler kanununun magnetik benzerlerini belirtirler [3].

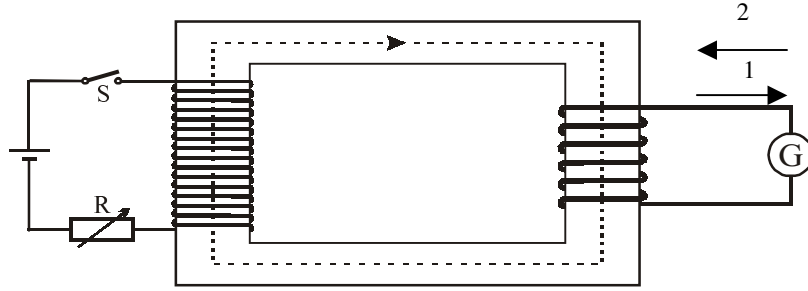
II.3. ELEKTROMAGNETİK ENDÜKSİYON

II.3.1. Transformasyon ve Hareket Endüksiyonları

Elektrik akımları daima bir magnetik alan doğururlar. Tersine olarak şartlar uygun olduğunda magnetik alanlar da elektrik akımlarını doğururlar. Elektromagnetik endüksiyon veya kısaca endüksiyon denilen bu olay Faraday tarafından 1831 de keşfedildi [3].

Şekil 2.6. ve 2.7.'de endüksiyon olayını incelemek için kurulan düzenekler görülmektedir. Her iki düzenekte de indüksiyon olayının oluşumu çerçeve ile zincirlenen magnetik akının zamanla değişmesidir. Endüksiyon şekil 2.6'da 1 devresindeki akımın değişmesinden, şekil 2.7.' de ise çerçevenin magnetik alan içinde dönmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 2.6'da şayet S anahtarını açıp

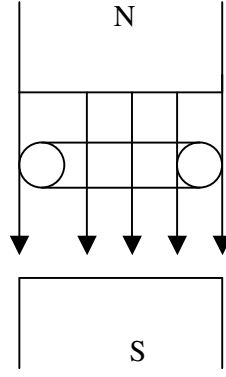
kapamak veya R direncini azaltıp çoğaltmak suretiyle 1 sargısının devresindeki akım değiştirilirse,hiç



Şekil 2.6. Endüksiyon olayının incelenebilmesi için kurulan düzenek
(Transformasyon endüksiyonu)

bir enerji kaynağı bulunmayan ikinci sargısının devresinden (G galvanometresinden) endüksiyon akımı denilen bir akım geçtiği görülür. Endüksiyon akımı sadece 1 devresinde bir değişiklik yapıldığında oluşur örneğin anahtarı kapatıldıktan sonra R direnci sabit tutulduğunda bu akım sıfırdır. Endüksiyon akımının yönü anahtar açılırken ve kapatılırken farklıdır. Keza direnç azalırken ve çoğalırken de akım yönleri farklı olur [4].

Şekil 2.7. de başka bir endüksiyon düzeneği görülmektedir. Şayet iki kutup arasına yerleştirilen çerçeve eksenî etrafında döndürülürse, adına endüksiyon emk'i denilen bir emk oluşur.

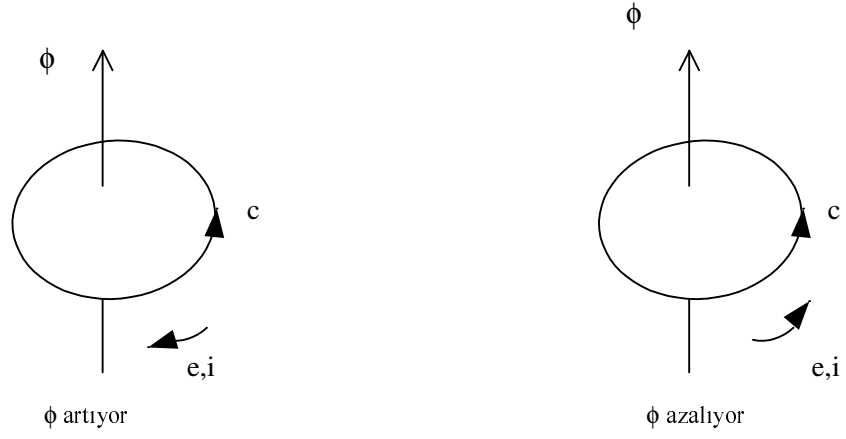


Şekil 2.7. Hareket Endüksiyonu

Böylece mekanik hareketin yer almadığı Şekil 2.6 daki endüksiyona transformasyon endüksiyonu Şekil 2.7'dekine ise hareket endüksiyonu denir. Bu iki tip arasında fiziksel bir fark yoktur. Zira her iki halde de ortak olan olay akının değişmesidir. Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren jeneratörlerin çalışma prensibi hareket endüksiyonuna, gerilimleri alçaltmak veya yükseltmek için faydalanılan transformatörlerin çalışma prensibi ise transformasyon endüksiyonuna dayanır.

II.3.2. Lenz Kuralı

Endüksiyon akımının yönü Lenz kuralı yardımıyla bulunur. Bu kuralda endüksiyon akımı, kendisinin meydana gelmesine sebep olan değişmeyi önleyecek şekilde yönelir. Her akım gibi endüksiyon akımı da bir magnetik alan doğurur. Böylece Lenz kuralına göre endüksiyon akımı, kendisini meydana getiren magnetik akıdaki değişmeyi önleyecek yönde akan bir magnetik alan oluşturmak zorundadır. Magnetik akının değişimi, artma veya azalma şeklinde olabilir. Şekil 2.8.'de ϕ akısı arttığında ve azaldığında c çevresinden akacak olan i akımının ve aynı yönde olan e emk'nin Lenz kuralına göre belirlenen yönleri görülmektedir. Eğer akının yönü değişirse, i ve e 'nin yönleri de değişir [11].



Şekil 2.8. ϕ akısının artış veya azalışına göre i akımının ve e emk'sının yönü

Şekil 2.6'da anahtar kapatıldığında akı sıfırdan herhangi bir değere yükselir açıldığında ise bu değerden tekrar sıfıra düşer. Anahtar kapalı iken R direnci azaltıldığında akım ve akı artar, arttırıldığında da akı tekrar azalır. Lenz kuralına göre endüksiyon akımı ϕ akısı artarken 1 numaralı ok yönünde azalırken ise 2 numaralı ok yönünde akar [12].

Endüksiyon olayında e ve i 'nin yönleri sağ el kuralı ile bulunur. Sağ el kuralında magnetik akı avuç içine girecek ve açılan başparmak hareket yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda uzatılan diğer parmaklar e ve i 'nin yönlerini gösterirler. Şayet iletken yerine magnetik alanı doğuran sistem hareket ederse, kuralı uygularken iletkenin ters yönde hareket ettiği farzedilir. Şekil 2.9'da kuralın uygulanışı görülmektedir [3].



Şekil 2.9 Sağ el kuralının uygulanışı

Endüksiyon akımı, kendisinin meydana gelmesine sebep olan hareketi frenleyecek kuralı bir magnetik kuvvet doğuracak şekilde yönelmektedir.

Lenz kuralı enerjinin korunması prensibinin bir sonucudur. Eğer endüksiyon akımının Lenz kuralına aykırı olarak yöneldiği kabul edilirse, bu durumda magnetik kuvvet hareket yönünde etkiyeceğinden bir kere başlatılan hareket hiç bir enerji harcamadan devam edecektir. Bu ise enerjinin korunması prensibine aykırıdır. Bu durumda hiç bir enerji harcamadan devreden bir akımın geçmesi, dolayısıyla devrede bir enerjinin harcanması mümkün olacaktır.

II.3.3. Endüksiyon Kanunu

Endüksiyon kanununa göre bir iletken çevre ile zincirlenen Φ akısı zamanla değişirse bu çevrede

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (2.26)$$

emk'i endüklenir [13]. Bu denklem, bir devrede endüklenen emk'i belirten Faraday endüksiyon kanunudur ve emk'in magnetik akının değişme hızının negatifine eşit olduğunu gösterir. Denklemdaki negatif işaret, endüksiyon emk'nin yönüyle ilgilidir. Şekil 2.8.'de çevre için seçilen pozitif yön burğu kuralına göre yukarı doğrudur ve bu yön pozitif akı yönü olarak kabul edilmiştir. Eğer Φ akısı artıyorsa $d\Phi > 0$ olur. Lenz kuralına göre e ve i nin yönleri çevre yönüne zıt olacağından bunlar negatiftir. Denklemdaki negatif işaretin bunu sağladığı görülmektedir. Akı azaldığında $d\Phi < 0$ olacağından e ve i çevre yönündedirler ve dolayısıyla pozitif olurlar. Negatif işaretin bunu sağladığı görülmektedir.

Sabit bir magnetik alan içinde düzgün bir hareket yapan iletkende endüklenen emk'i,

$$e = -Blv \quad (2.27)$$

Endüksiyon emk'i ve endüksiyon akımı genel olarak zamanla değiştiklerinden küçük harflerle gösterilirler.

(2.26) denklemi yardımıyla emk'li bulabilmek için çevre ile zincirlenen Φ akısının zamana göre değişiminin ($\Phi = f(t)$) bilinmesi gerekir.

Eğer magnetik akı, hem magnetik alanın zamanla değişmesinden dolayı, hem de bir kayma veya dönme hareketi nedeniyle değişiyorsa, her iki tip endüksiyon aynı anda oluşacaktır. Örneğin Φ akısı $\Phi = \Phi(x, t)$ şeklinde x uzaklığına ve t zamanına bağlı olarak değişiyorsa;

$$d\Phi = \frac{\partial\Phi}{\partial t} dt + \frac{\partial\Phi}{\partial x} dx \quad (2.28)$$

olacağından, $dx/dt = v$ konulduğunda emk için

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\partial\Phi}{\partial t} - v \frac{\partial\Phi}{\partial x} = e_t + e_h \quad (2.29)$$

bulunur. Burada; $e_t = -\frac{\partial\Phi}{\partial t}$ transformasyon, $e_h = -v \frac{\partial\Phi}{\partial x}$ ise hareket endüksiyonlarına tekabül eden emk'leri gösterir. Bir dönme hareketinde magnetik akı, örneğin $\Phi = \Phi(\alpha, t)$ şeklinde α açısına ve zamana bağlı olarak değişiyorsa,

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} - \omega \frac{\partial\Phi}{\partial \alpha} = e_t + e_h \quad (2.30)$$

olacaktır. Burada $\omega = d\alpha/dt$ açısal hızı göstermektedir. Bu karışık tip endüksiyona döner ve yürüyen tip elektrik makinalarında rastlanır.

Yukarıdaki endüksiyon formülleri bir sarımlı bobin içindir. Pratikte bir sarım yerine birbirine seri bağlı sarımlardan oluşan sargılar kullanılmaktadır. Şayet sargının bütün sarımları ile halkalanan akılar aynı ise sarım sayısı N olan sargıda indüklenen toplam emk,

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.31)$$

olacaktır. Bu denklemde $Nd\Phi = d(N\phi)$ yazılabileceğinden

$$\psi = N\Phi \quad (2.32)$$

koyarak

$$e = -\frac{d\psi}{dt} \quad (2.33)$$

eşitliği elde edilir. Sarımlarla halkalanan Φ akısını sarım sayısı ile çarparak bulunan ψ akısına toplam akı, sargı akısı veya halkalanma akısı adları verilir. Φ 'ye sarım akısı da denilir. Sargı akısının birimi de sarım akısı gibi Wb dir.

Şayet bütün sarımlar için sarım akısı aynı değilse sargı akısı (2.32) yardımıyla bulunamaz. Keza bu durumda e m k için (2.31) formülünü kullanamayız. Örneğin dört sarımlı bir sargıda bütün sarımlar Φ_1 akısı ile, iki sarım Φ_2 akısı ile, bir sarım ise Φ_3 akısı ile halkalandığında bu sargı için sargı akısı [11]

$$\psi = 4\Phi_1 + 2\Phi_2 + \Phi_3 \quad (2.34)$$

dir. Genel olarak $N_1, N_2, \dots$ sarımla halkalanan sarım akıları $\Phi_1, \Phi_2, \dots$ ile gösterilirse, sargı akısı

$$\psi = N_1\Phi_1 + N_2\Phi_2 + \dots \quad (2.35)$$

olacaktır. Sargı akısı ne şekilde olursa olsun (2.33) denklemi değişmez ve endüksiyon kanununun en genel şeklidir. Sarım akıları farklı olan bir sargıda $\Phi = \psi / N$ eşdeğer sarım akısı denir. Şayet magnetik akı zamanla $\Phi = \alpha t + b$ şeklinde değişiyorsa (a ve b = sabit) transformasyon endüksiyonu $e = -aN = \text{sabit}$. olur. Akının t_1 ve t_2 anlarındaki değerleri Φ_1 ve Φ_2 olduğuna göre

$$\alpha = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.36)$$

olacağından endüksiyon formülü

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.37)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer akı zamanla herhangi bir şekilde değişiyorsa, emk'in t_1 ve t_2 anları arasındaki ortalama değeri,

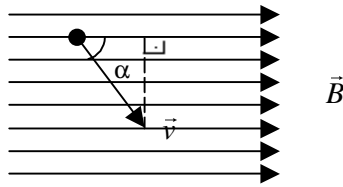
$$E_0 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} e dt \quad (2.38)$$

olacağından $e = -Nd\phi/dt$ koyarak ve integrasyon sınırlarını ϕ için ϕ_1 ve ϕ_2 alarak da E_0 elde edilebilir.

Kayma hareketi için bulunan (2.27) formülü ancak alan, iletken ve hareket yönleri birbirlerine dik olduğunda kullanılabilir. Şayet iletken magnetik alana dik olmakla beraber şekil.2.10'da görüldüğü gibi hareket yönü alanın yönüyle α açısını yapıyorsa, bu formülde v yerine $v \sin \alpha$, yani hızın alana dik olan bileşenini almak gerekir. Böylece (2.27)

$$e = Blv \sin \alpha \quad (2.39)$$

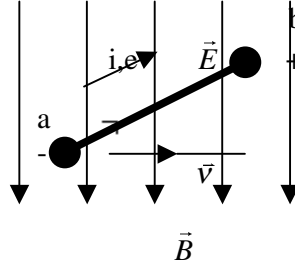
dır e değeri $\alpha = 0$ için sıfır ve $\alpha = 90$ için maksimum olur



Şekil 2.10. Magnetik alan içinde alan yönü ile α açısı yaparak hareket eden bir iletken

O halde endüksiyonun olabilmesi için $\alpha \neq 0$ olmak zorundadır. Bu şart, hareket sırasında endüksiyon çizgilerinin iletken tarafından kesilmesi gerektiği şeklinde de açıklanabilir.

Magnetik alan içinde hareket eden bir iletken parçasında da endüksiyon emk'i meydana gelir. Şekil 2.11 de görülen ve magnetik alana dik olan ab iletkeninin alana dik doğrultuda sağa doğru kaydırıldığını kabul edelim.



Şekil 2.11. Magnetik alana dik ab iletkeni

Bu anda iletkenin içindeki elektronlar da birlikte hareket edeceklerinden bunlara magnetik kuvvetler etkiyecektir. Elektronlar bu kuvvetlerin etkisiyle a ucuna doğru gittikleri için bu uç negatif, elektron kaybeden b ucu ise pozitif olarak yüklenir. Uçlarda toplanan bu yükler b den a' ya doğru yönelen bir statik elektrik alanının doğmasına sebep olurlar. İletkenin içindeki elektronlar hem magnetik kuvvetlerin hem de bu statik alanın sebep olduğu kuvvetlerin etkisi altındadırlar.

Elektronun yükü q ile, statik alan $\vec{E}_s$ ile gösterilirse, denge durumunda $q(\vec{v} \times \vec{B}) + q\vec{E}_s = 0$ olacaktır. Burada birinci terim elektrona etkiyen magnetik kuvveti, ikinci terim ise statik alan kuvvetini gösterir. Şayet

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B} \quad (2.40)$$

denilirse denge şartı $\vec{E} + \vec{E}_s = 0$ şeklini alır. Böylece magnetik kuvvetin $\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$ alanının kaynağı olduğu söylenebilir. İletkenin uçlarında toplanan yükler iki uç arasında bir gerilimin doğmasına sebep olurlar [5]. Şayet $\vec{E}$ alanı yönünde olan uzunluk vektörü $\vec{l}$ ile gösterilirse, bu gerilim $(\vec{v} \times \vec{B})\vec{l}$ şeklinde hesaplanabilir. Diğer taraftan iletkenin magnetik alan içindeki hareketi nedeniyle oluşan bu gerilime endüksiyon emk'i gözüyle bakılabileceğinden, bu emk

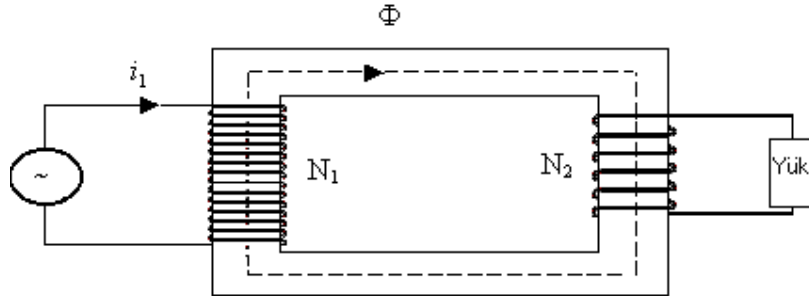
$$e = (\vec{v} \times \vec{B})l \quad (2.41)$$

şeklinde yazılabilir. Şekil 2.11'deki alan, iletken ve hareket yönlerine göre $e = vBl$ olacağı kolayca görülebilir. Endüksiyon alanı adı verilen $\vec{E}$ alanı, iletkenin yönüyle β açısını, $\vec{v}$ hızı da $\vec{B}$ alanı ile α açısını yapıyorsa;

$$e = Blv \sin \alpha \cos \beta \quad (2.42)$$

olacaktır. İletken alana dik olduğunda $\beta = 0$ olacağından bu formül (2.39) şeklini alır.

Şekil 2.12'de bir fazlı transformatörün prensip şeması görülmektedir. Bir magnetik devre üzerine yerleştirilen sargılardan herhangi birine biri alternatif gerilim uygulandığında primer devre adı verilen bu sargıdan sekonder devreye enerji magnetik alan yoluyla taşınır. Düşük frekanslarda magnetik devre demirli, yüksek frekanslarda ise daha ziyade havalıdır.



Şekil 2.12. Bir Fazlı Transformatörün Prensip Şeması

Transformatörün çalışma prensibi basit olarak şu şekilde açıklanabilir. Şayet bir sargı ile halkalanan magnetik akı $\phi = \phi_m \cos \omega t$ şeklinde değişirse, bu sargıda $e = -Nd\phi / dt = \omega N\phi_m \sin \omega t = E_m \sin \omega t$ emk' i indüklenir. Sinüs biçiminde değişen emk' in genliğini $\sqrt{2}$ ye bölerek ve $\omega = 2\pi f$ koyarak E etkin değeri elde edileceğinden

$$E = 4,44 f N \phi_m \quad (2.43)$$

olur.(2.43)'de Φ_m transformatörde kaçığın ve kaybın bulunmadığı kabul edilerek primer ve sekonderle halkalanan ortak akının genliği olduğuna göre, her bir sargıda indüklenen emk' lerin etkin değerleri için $E_1 = 4,44 f_1 N_1 \phi_m$ ve $E_2 = 4,44 f_1 N_2 \phi_m$ olur. E_1 ve E_2 birbirlerine oranlandığında,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.44)$$

elde edilir. Yüksüz bir transformatörde $E_1 \approx U_1$ kabul edilirse, (2.44) ifadesi U cinsinden [1]

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.45)$$

olur. Sarım sayıları arasındaki bu orana transformatörün çevirme (dönüştürme) oranı denir. Böylece $\frac{N_1}{N_2}$ oranını uygun bir şekilde seçerek verilen bir gerilimi veya akımı düşürmek veya yükseltmek mümkün olacaktır. Primer ve sekonder akımları yaklaşık olarak sarım sayıları ile ters orantılıdır, Transformatörlerin verimleri çok yüksek olup %90 - 99 arasındadır. Alternatif akımda amperetrelerin veya voltmetrelerin ölçme alanlarını genişletmek için şönt veya öndirenç yerine akım ve gerilim transformatörleri kullanılır [1].

BÖLÜM III

MATEMATİKSEL TEMEL KAVRAMLAR

III.1. Matematiksel Modeller

Bir elektrik aygıtının tasarımında ağıta yönelik elektriksel, magnetik, ısı, mekanik özellikler göz önünde bulundurulur. Bu aşamada tasarlanan ağıta ilişkin elektromagnetik alan incelemelerinin yapılması, koşullara uygun boyutlandırma, biçimlendirme gibi verilerin yanısıra, ağıtın özelliklerini ve davranışını belirleme bakımından yararlı ve gerekli bilgilerin elde edilmesi olanağını da verir. Uygulama alanlarının çeşitliliği nedeniyle elektriksel ağıtlarla ilgili problemler de birbirinden farklılıklar gösterir. Örneğin;

Elektrik makinaları, transformatörler, generatörler,
Baralar, kesiciler, iletim hatları, kablolar;
Yüksek gerilim elemanları (izolatörler, parafudurlar, elektrod sistemleri...),
Özel ağıtlar...

ile ilgili problemlerin birbirinden farklılık göstermesi gibi [2]. Uğraşılan fiziksel bir olayın matematiksel olarak formüle edilmesi ve oluşturulan matematiksel modelin de sayısal olarak çözülmesi istenir. Zaman ve ekonomi bakımından pahalı deneysel çalışmalar yerine sayısal benzetimler (simülasyonlar) üzerinde çalışmak daha uygundur. Ancak sayısal çalışmalar; karmaşık yapılarda elektromagnetik alan hesabı yapmayı, bunun için de matematiksel temelleri ve bilgisayar tekniklerini (bilgisayar kullanımını, programlamayı, sayısal çözümlemeyi) bilmeyi gerektirir.

Bir problemin matematiksel tanımı Maxwell denklemlerinden yararlanılarak yapılabilir. Genellikle problemlere ilişkin ortaya çıkan kısmi türevli denklemlerin analitik çözümü, çok basit durumlar hariç, genelde zor, zaman alıcı veya olanaksız olabilir. Bu gibi durumlarda sayısal yöntemlerle çalışmak kaçınılmaz olmaktadır.

Kaçak akının duyarlı hesaplanabilmesi kaçak endüksiyon alanının bulunmasını gerektirir. Transformatörlerde endüktansların, sargılara uygulanan kuvvetlerin, sargılarda ve demir kısımlarda oluşan ek kayıpların hesaplanabilmesi için kaçak alan dağılımının bilinmesi zorunludur. Büyüyen generatör güçlerinin gerektirdiği büyük güçlü transformatörlerin bir yandan kullanılan malzeme, diğer yandan taşıyabilme açısından boyutlara ve ağırlığa konan sınırlamalara rağmen gerçekleştirilmesi, kaçak akının hesaplanmasında sağlanan ilerlemeler sayesinde olmuştur. Önceleri endüksiyon alanının sadece eksenel olduğu kabul edilerek bulunan basit formüller uygulanırdı. Daha sonra daha duyarlı sonuçlar için Lehmann ve Richter tarafından çizimsel yöntemler geliştirilmiştir. 1928 de Roth kaçak alan için ilk kez analitik bir çözüm yolu buldu. Çift Fourier serilerinin kullanıldığı bu çözümle Roth kısa devre kuvvetlerini, Boyacian da kaçak reaktansları hesapladı [1]. Kaçak akıların pratikteki değerleri faydalı akının %5'inden daha küçüktür. Bu küçüklüğe rağmen kaçak akılar transformatörün çalışmasında çok önemli rol oynarlar. Uygun büyüklükte seçildiğinde zararlı değil, yararlı olurlar. Kaçak akılar transformatörler için çok tehlikeli olan kısa devre akımlarını azaltmada ve paralel çalışmayı kolaylaştırmada en etkin araçlardır [1]. Kaçak akıların istenen küçüklükte olmasını sağlamak için; primer ve sekonder sargılar bir birine yakın olacak şekilde ve parçalara ayrılmış şekilde üst üste konulmalı, nüveyi oluşturan sac plakaların yerleştirilmesinde hava boşluğunun olmamasına dikkat edilmeli, transformatör nüvesi kaliteli ince ferromagnetik malzemeden yapılmalı (amorfsac) ve nüveyi oluşturan sac plakaların birleştirilmesinde demir malzemeden kaçınılmalıdır.

Sayısal elektromagnetik alan incelemelerinde farklı sayısal yöntemlerden yararlanılır. Elektromagnetik alan incelemelerinde kullanılan başlıca sayısal yöntemler; yük benzetim yöntemi (YBY), monte carlo yöntemi (MCY), Sınır elemanları yöntemi (SINEY), sonlu farklar yöntemi (SFY), sonlu elemanlar yöntemi (SEY) dir. Sonlu kompoze (elemanlar ve farklar) yöntemi (SKY), değişik kısmi diferansiyel eşitliklerinin çözümünde kullanılan genel bir yöntemdir. Bu tip eşitlikler Laplace ve Poisson eşitlikleri olarak bilinir. Kısmi diferansiyel eşitlikler,

elektrostatik ve elektromagnetik alan problemlerinin modellenmesi [7-11], akışkanlık [14], ısı transferi [15, 16] ve bazı sınır değer problemleri ile ilgilidir. Bu tip eşitliklerin çözümü için tercih edilen teknikler closed-form (analitik) çözüm yöntemi [4], analog yöntem [17] ve nümerik tekniklerdir [9, 18, 19].

Sonlu elemanlar yöntemi poisson denklemini sağlayan çözüm ilkesine dayanır ve toplam magnetik enerjinin minimuma indirgenmesini temel alır [2, 20, 21]. Tüm elektrik makinalarının kesitleri dikey ızgara sistemlerine uydurulabilir. Gerek sonlu farklar, gerekse sonlu elemanlar yöntemi için birinci derece algoritmalar bazı yazarlar tarafından ortaya konmuştur. Dikdörtgen ve polar sonlu farklar algoritmaları bilhassa Erdelyi ve diğerleri [5, 6, 22, 23], üçgen sonlu elemanlar algoritmaları özellikle Silvester ve diğerleri [24, 25, 26, 27], üçgen bölmelendirmede kullanılan sınırlandırılmış diferansiyel eşitlik sistemi ise Winslow [28] tarafından ortaya konmuştur. Bu algoritmalarından herhangi biri kullanılarak yapılan çözümün sonucu, değişik yöntemler kullanılarak çözümlenebilen lineer denklem sistemidir. Çözüm esnasında kullanılan üçgen bölümlenmiş ağ bloğu kare, dikdörtgen veya polar ağ bölümlmelerine kıyasla, daha esnek olarak kullanılabilen bir alana sahiptir. Büyük, karışık yapıdaki geometrik bir bölgenin üçgen ağ bölmelerle modellenmesi mümkündür. Bir elektrik makinası kesitinin modellenmesi için orthogonal olarak düzenlenmiş sistem yeterlidir [29].

Alan dağılımlarının ölçülmesinde, alan dağılımını ölçen doğrudan bir cihaz yoktur. Ölçüm sondaları ile ölçme işlemi gerçekleştirilir. Ölçüm sondasının ucuna yerleştirilmiş olan ölçü bobini belirtilen konumda alanın ölçüleceği ortama sokularak alan çizgilerinin bu ölçü bobininden geçmesi sağlanır. Bir bobinden geçen magnetik alan bobinde (alanın sinüsoidal olarak değiştiği ve ölçü aletinin efektif değer ölçtüğü kabul edildiğinde)

$$U_{end} = \frac{2\pi fBAN}{\sqrt{2}} \text{ (V)} \quad (3.1)$$

gerilimini endükler. Burada;

N sarım sayısı,

f frekans (1/s),

B magnetik akı yoğunluğu (T, wb/m²),

A bobinin kesiti (m²), dir.

Ölçülen (endüklenen) gerilimden

$$B = \frac{U_{end} \sqrt{2}}{N 2\pi f A} \quad (3.2)$$

formülüne göre magnetik akı yoğunluğu bulunur. Ölçümün doğruluğu ölçüm sondasının ucunda bulunan ölçü bobininin alan içinde doğru konumda tutulmasına bağlıdır. Bilindiği gibi en yüksek gerilimin elde edilebilmesi için alan çizgileri bobinin içinden dik olarak geçmelidir. Bobinde endüklenecek gerilimin değeri bobin eksenini ile bobinden geçen akı eksenini arasındaki açının kosinüsüne bağlıdır. Yani

$$U_{end} \approx \cos \alpha \quad (3.3)$$

Bobin eksenini ile akı eksenini birbirine paralel olduğunda $\cos \alpha = 1$ dir [30].

III.1.1 Fiziksel Matematik Denklemlerinin Temelleri

Pek çok fiziksel ve matematiksel problemin çözümünde diferansiyel denklemlerle karşılaşılır. Yoğunlukla karşılaşılan diferansiyel denklemler, ikinci dereceden diferansiyel denklemlerdir. Bağımsız değişkenleri x ve y bağımlı değişkeni Φ olan ikinci dereceden bir kısmi diferansiyel denklem genel olarak (3.4) deki gibidir [31].

$$a \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + b \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + d \frac{\partial \Phi}{\partial x} + e \frac{\partial \Phi}{\partial y} + f \Phi + g = 0 \quad (3.4)$$

Bu tür kısmi diferansiyel denklemde a, b, c, d, e, f , ve g katsayıları x ve y 'nin fonksiyonu ise diferansiyel denklem “lineer (doğrusal) diferansiyel denklem”; x, y ve Φ ’nin fonksiyonu ise “lineer olmayan (nonlinear) diferansiyel denklem” adını alır [32]. Sonlu elemanlar yöntemi aşağıda verilen türdeki diferansiyel denklemlerin çözümü için kullanılabilecek sayısal bir yöntemdir. Fiziksel olayları tanımlayan kısmi diferansiyel denklemler grubu, pek çok özel durum içerir. Bunları kapsamlı bir şekilde tanımlamak oldukça fazla bir zaman gerektirir. Buna rağmen, bu denklemler her biri özel bir durumu tanımlayacak şekilde başlıca üç grupta toplanabilir [31, 33]. Eliptik kısmi diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = f(x, y) \text{ Poisson denklemi} \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad \text{Laplace denklemi} \quad (3.6)$$

Parabolik kısmi diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0 \quad \text{Difüzyon denklemi} \quad (3.7)$$

Hiperbolik kısmi diferansiyel denklem,

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = 0 \quad \text{Bir boyutlu dalga denklemi [2]} \quad (3.8)$$

Bir maddeye ısı difüzyonu gibi difüzyon problemlerinde parabolik türden denklemlerle, elektromagnetik dalgaların veya mekanik titreşimlerin yayılımı gibi problemlerde ise hiperbolik denklemlerle karşılaşılır. Sonlu elemanlar yöntemi, bu üç tür diferansiyel denklemin çözümü için kullanılabilecek sayısal bir yöntemdir. Kartezyen koordinatlarda iki boyutlu Laplace denklemi

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0 \quad (3.9)$$

dır [32]. Burada; V elektriksel potansiyel'dir. Laplace denklemi gibi eliptik türden diferansiyel denklemle verilen problemde üç tür sınır koşulu vardır.

- Dirchlet sınır koşulu
- Neumann sınır koşulu
- Robbins (karma) türü sınır koşulu

Dirchlet sınır koşulunda sınırlar üzerindeki V potansiyelleri bilinir.

Neumann sınır koşulunda V nin sınırlar üzerindeki $\frac{\partial V}{\partial n}$ türev değerleri verilir.

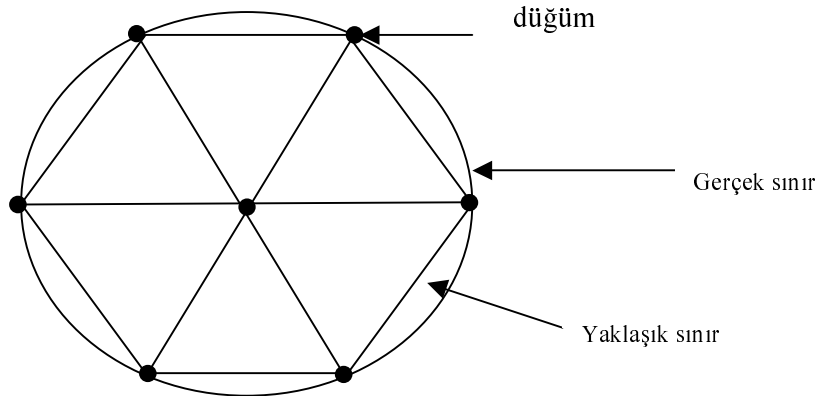
Robbins türü (karma tür) koşulunda sınırlar üzerindeki V ve $\frac{\partial V}{\partial n}$ değerleri verilir.

III.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi [34] sınır değer problemlerinin çözümünde kullanılan nümerik bir tekniktir. Bu yöntemle, diferansiyel eşitliklerdeki alan kavramı enerji bağıntılı ifadelerle dönüştürülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemi, uygulamadaki diğer işlemlerde olduğu gibi sistemin sonlu sayıdaki bilinmeyen büyüklüğünün sistemin bilinenleri cinsinden yazılmasına, yani bilinmeyen büyüklüklerin sistemden ayırt edilmesine veya bir tarafa toplanmasına dayanır. Elektromagnetik alan problemlerinin çoğu, ya kısmi diferansiyelli, ya da integralli denklemleri içerir. Kısmi diferansiyel denklemler sonlu farklar, ya da sonlu elemanlar yöntemleri ile çözülürken integral denklemleri geleneksel yöntemlerle çözülür. Herhangi bir problemin sonlu elemanlar ile çözümü dört adımdan oluşur [2, 35, 36]

1. Çözüm bölgesinin sonlu sayıda alt bölgelere, ya da alt elemanlara bölünmesi,
2. Bir elemana ait temel denklemlerin yazılması,
3. Çözüm bölgesindeki tüm elemanların birleştirilmesi,
4. Elde edilen denklemlerin çözülmesi.

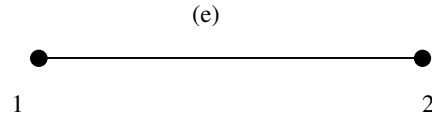
III.2.1. Çözüm Bölgesinin Sonlu Elemanlara Bölünmesi



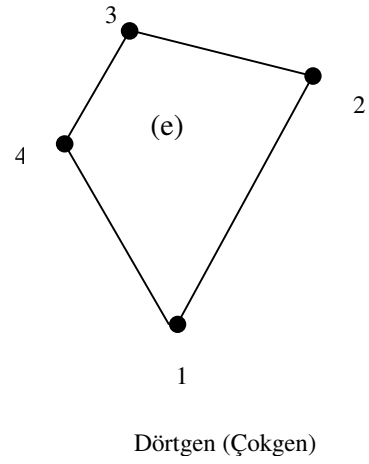
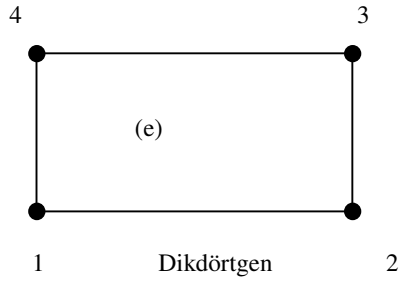
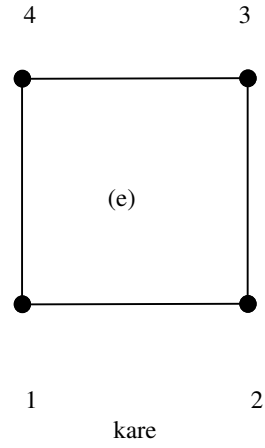
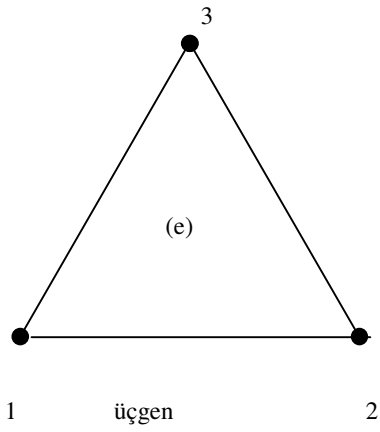
Şekil 3.1. Bölgenin ayrıklaştırılması

Şekil 3.1'deki gibi iki boyutlu bir bölgenin sınırını nokta nokta tanımlamak ve bu noktaları doğru parçaları ile birleştirmekle yaklaşık bir sınır elde etmek mümkündür. Nokta sayısı artırılarak, böylece doğru parçalarının boyu kısaltılarak gerçek sınır daha doğru biçimde tanımlanmış olacaktır [2,36].

Kapalı bir bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi işlemi boyutları, konumları ve biçimleri isteğe bağlı olarak seçilen elemanlarla yapılabilir. Bu elemanlar, bir boyutlu problemlerde doğru parçaları şeklinde, iki boyutlu problemlerde üçgen, kare, dikdörtgen veya çokgen gibi şekillerde, üç boyutlu problemlerde ise küp, prizma, dörtyüzlü gibi şekillerde olabilir (Şekil 3.2, 3.3)



Şekil 3.2. Bir boyutlu sonlu eleman



Şekil 3.3 İki boyutlu sonlu eleman örnekleri

III.2.2. Sonlu Elemanlar İle Hesap Yapabilmek İçin Temel Denklemlerin Yazılımı

Sonlu elemanlar yöntemi ile bir potansiyel problemini çözümlemeye yaklaşık bir çözüm elde etmek için, bölge elemanlara ayrıldıktan sonra her elemandaki potansiyelin belirli bir bağıntı ile değiştiği kabul edilir. Potansiyelin sürekli olarak değiştiği bir bölgede bölgenin tümü için yaklaşık bir çözüm elde edilebilir. Bir elemandaki potansiyelin değişimini esas alan böyle bir potansiyel işlevine yaklaşım işlevi veya interpolasyon işlevi adı verilir. Bu işlev genellikle çok terimli (polinom) biçiminde seçilir [37].

Genel olarak n. dereceden çok terimli biçimde iki boyutlu bir potansiyel yaklaşım işlevi,

$$V(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4xy + a_5x^2 + a_6y^2 + \dots + a_{n-1}x^n + a_ny^n \quad (3.10)$$

şeklinde dir. (3.10) deki işlev çok genel olup çözümleme bakımından uygun olmadığından bunun yerine daha basit olanları kullanılır. Çokterimlinin derecesi n olmak üzere üçüncü dereceye kadar bir ve iki boyutlu problemler için kullanılabilecek yaklaşım işlevleri ve bu işlevleri oluşturmak için iki boyutlu Pascal üçgeni şekil 3.4’de verilmiştir.

Kartezyen Koordinatlarda yaklaşım işlevleri

1. Birinci derece (doğrusal, lineer) yaklaşım işlevleri ($n = 1$),

bir boyutlu için

$$V(x) = a_1 + a_2x, \quad (3.11)$$

iki boyutlu için

$$V(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y, \quad (3.12)$$

ve üç boyutlu için

$$V(x,y,z) = a_1 + a_2x + a_3y + a_4z, \quad (3.13)$$

2. ikinci derece (karesel) yaklaşım işlevleri (n=2),

bir boyutlu için

$$V(x)=a_1+a_2x+a_3x^2, \quad (3.14)$$

iki boyutlu için

$$V(x,y)=a_1+a_2x+a_3y+a_4xy+a_5x^2+a_6y^2, \quad (3.15)$$

üç boyutlu için

$$V(x,y,z)=a_1+a_2x+a_3y+a_4z+a_5xy+a_6yz+a_7xz+a_8x^2+a_9y^2+a_{10}z^2 \quad (3.16)$$

$$\begin{array}{cccccc}
 & & & & & 1 \\
 & & & & x & y \\
 & & & x^2 & xy & y^2 \\
 & & x^3 & x^2y & xy^2 & y^3 \\
 & x^4 & x^3y & x^2y^2 & xy^3 & y^4 \\
 x^5 & x^4y & x^3y^2 & x^2y^3 & xy^4 & y^5
 \end{array}$$

Şekil 3.4. İki boyutlu Pascal üçgeni

Seçilen çokterimlinin derecesi ne kadar yüksek ise doğru çözüme o kadar iyi yaklaşılır. Çokterimli işlevler karmaşık durumların daha iyi tanımlanmasını sağlarken türev alma işlemlerini de kolaylaştırır. Yüksek dereceli çok terimlilerle doğruluk artarsa da hesap süresi, bellek gereksinimi ve karışıklıkta aynı oranda artar.

Çokterimlinin katsayıları eleman üzerinde ve içinde seçilmiş düğümlerin koordinatları ve potansiyelleri cinsinden bulunabilir. Çokterimlinin derecesinin yüksek olması, daha fazla düğüm tanımlama olanağı verir. Basitleştirmek bakımından genellikle birinci dereceden yaklaşım işlevleri kullanılır. Örneğin üçgen elemanlarda böyle bir yaklaşımda üç katsayı vardır [36].

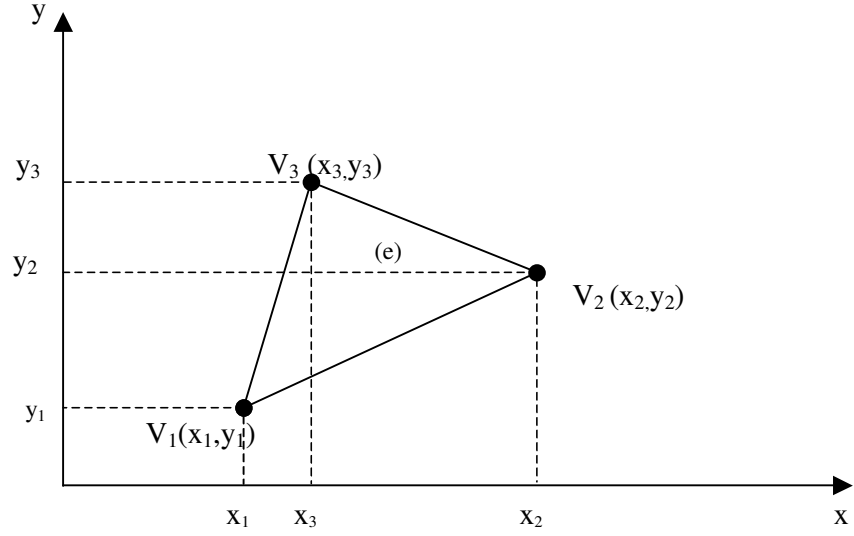
$$V(x,y)=a+bx+cy \quad (3.17)$$

Burada; a, b, c birer katsayı, x ve y kartezyen koordinatlardır. Bu çokterimlinin katsayılarının belirlenebilmesi için üçgen elemanların üç köşe noktasına ilişkin koordinatların ve potansiyel değerlerinin bilinmesi gerekir. Görüldüğü gibi gerçek çözümün yerini parça-parça lineer (doğrusal) bir fonksiyon almaktadır. Eğer tanımlanan bölgedeki elemanların köşe noktaları ortak ise, vektör potansiyel değişimi iki elemanın sınırında da sürekli olacaktır. Bu sınırlar arasında aralık olmadığından çözüm olarak bulunan $V(x,y)$, parça-parça, ancak tüm bölge içinde sürekli olan bir çözümdür [36, 38].

Bir dikdörtgen elemanda

$$V(x,y)=a+bx+cy+dx \quad (3.18)$$

şeklinde dir. Burada da yine a, b, c, d katsayılarının belirlenebilmesi için dikdörtgen elemanın dört köşe noktasına ilişkin koordinatların ve potansiyel değerlerinin bilinmesi gerekir.



Şekil 3.5. (e) adlı bir üçgen elemanın x-y kartezyen koordinat sisteminde gösterilişi. (1-2-3) Düğüm numaralarının sıralanışı saat ibresinin tersi yönündedir.

Şekil 3.5'deki gibi (e) adlı bir üçgen elemanın 1, 2, 3 nolu düğümlerindeki $V_1^{(e)}$, $V_2^{(e)}$, $V_3^{(e)}$ potansiyelleri (3.5) denklemi yardımıyla bulunabilir. Buna göre,

$$\begin{bmatrix} V_1^{(e)} \\ V_2^{(e)} \\ V_3^{(e)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

yazılabilir. Koordinat matrisinin determinantı üçgen elemanın alanının iki katına eşittir. Alanın sıfır olmaması şartıyla a, b, c katsayıları örneğin Cramer kuralı uygulanarak bulunabilir.

(3.19) denkleminde a, b, c değerleri

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_1^{(e)} \\ V_2^{(e)} \\ V_3^{(e)} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

şeklinde olur. İki boyutlu üçgen elemanlardan oluşmuş bir bölgede her bir eleman içindeki potansiyel dağılımı o elemana ilişkin a,b,c katsayıları hesaplanarak bulunabilir. Bulunan değerler (3.17) bağıntısında kullanılırsa, bir eleman için potansiyel bağıntısı [2, 35]

$$V^{(e)}(x,y)=[1 \times y] \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} (x_2 y_3 - x_3 y_2) & (x_3 y_1 - x_1 y_3) & (x_1 y_2 - x_2 y_1) \\ (y_2 - y_3) & (y_3 - y_1) & (y_1 - y_2) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^{(e)} \\ V_2^{(e)} \\ V_3^{(e)} \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

olur.

$$V^{(e)}(x, y) = [\alpha_1 V_1^{(e)} + \alpha_2 V_2^{(e)} + \alpha_3 V_3^{(e)}]$$

α katsayıları kullanılan sonlu elemanların şekline bağlı olup biçim katsayıları olarak adlandırılırlar. Biçim katsayıları [2, 35]

$$\alpha_1 = \frac{1}{2A} [(x_2 y_2 - x_3 y_2) + (y_2 - y_3)x + (x_3 - x_2)y] \quad (3.22a)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2A} [(x_3 y_1 - x_1 y_3) + (y_3 - y_1)x + (x_1 - x_3)y] \quad (3.22b)$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{2A} [(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y] \quad (3.22c)$$

dır.

A ise (e) adlı (üçgen) elemanın alanıdır.

$$A = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

veya

$$A = \frac{1}{2} [(x_1 - x_3)(y_2 - y_3) - (x_3 - x_2)(y_3 - y_1)] \quad (3.24)$$

şeklinde hesaplanır.

Üçgen elemanın düğüm noktaları saat ibresi yönünün tersi yönde işaretlendiğinde A'nın değeri pozitif değer olarak çıkar. Köşe noktadaki

potansiyelleri bilinen bir elemanın kendi içinde yer alan herhangi bir (x,y) noktasındaki potansiyeli hesaplanabilir.

Bir üçgen eleman içindeki enerji

$$W_e = \frac{1}{2} \int \epsilon |E^2| dA = \frac{1}{2} \int \epsilon |\nabla V^{(e)}|^2 dA \quad (3.25)$$

bir üçgen eleman içindeki potansiyelin değişim bağıntısı [2, 35]

$$V^{(e)} = \sum_{i=1}^3 \alpha_i V_i$$

dir. Bu bağıntıda V_i sabit , $\alpha_i = \alpha_i(x, y)$ olduğundan eleman içindeki potansiyelin gradyanı

$$\nabla V^{(e)} = \sum_{i=1}^3 V_i^{(e)} \nabla \alpha_i \quad (3.26)$$

olur. Bunu (3.25) bağıntısında kullanmak için $|\nabla V^{(e)}|^2$ terimi çarpımların toplamı şeklinde yazılırsa ve (3.26) denklemini (3.25) denkleminde kullanılırsa,

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \epsilon V_i^{(e)} \left(\int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j dA \right) V_j^{(e)} \quad (3.27)$$

bağıntısı elde edilir. (3.27) bağıntısında parantez içindeki terim

$$K_{ij}^{(e)} = \int \nabla \alpha_i \nabla \alpha_j dA \quad (3.28)$$

olarak belirtilirse, (3.27) bağıntısı matrisel olarak

$$W_e = \frac{1}{2} \epsilon [V^{(e)}]^T [K^{(e)}] [V^{(e)}] \quad (3.29)$$

şeklinde yazılır. $[V^{(e)}]^T$ ise bu matrisin transpozesidir.

$$V^{(e)} = \begin{bmatrix} V_1^{(e)} \\ V_2^{(e)} \\ V_3^{(e)} \end{bmatrix} \quad (3.30a)$$

$$[K^{(e)}] = \begin{bmatrix} K_{11}^{(e)} & K_{12}^{(e)} & K_{13}^{(e)} \\ K_{21}^{(e)} & K_{22}^{(e)} & K_{23}^{(e)} \\ K_{31}^{(e)} & K_{32}^{(e)} & K_{33}^{(e)} \end{bmatrix} \quad (3.30b)$$

ϵ = dielektrik katsayısı (permittivite) (F/m)

E= elektrik alan şiddeti (V/m)

$[K^{(e)}]$ = katsayılar matrisi (stiffness matrix)

$[K^{(e)}]$, genellikle katsayılar matrisi olarak adlandırılır. Katsayılar matrisinin $K_{ij}^{(e)}$ elemanı, i ve j düğümleri arasında bir bağıntı olduğunu belirtir ve (3.22) ve (3.24) bağıntılarından elde edilir.

Skaler çarpımda $\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = 1$, $\vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \vec{i} = 0$ olduğuna göre, [2, 35]

$$\begin{aligned} K_{11}^{(e)} &= \int \nabla \alpha_1 \nabla \alpha_1 dA \\ &= \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)^2 + (x_3 - x_2)^2] \end{aligned} \quad (3.31a)$$

$$\begin{aligned} K_{12}^{(e)} &= \int \nabla \alpha_1 \nabla \alpha_2 dA \\ &= \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_2)(x_1 - x_3)] \end{aligned} \quad \dots \quad (3.31b)$$

dir. Benzer şekilde,

$$K_{13}^{(e)} = \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)(y_1 - y_2) + (x_3 - x_2)(x_2 - x_1)] \quad (3.31c)$$

$$K_{23}^{(e)} = \frac{1}{4A} [(y_3 - y_1)(y_1 - y_2) + (x_1 - x_3)(x_2 - x_1)] \quad (3.31d)$$

$$K_{11}^{(e)} = \frac{1}{4A} [(y_2 - y_3)^2 + (x_3 - x_2)^2] \quad (3.31e)$$

$$K_{22}^{(e)} = \frac{1}{4A} [(y_3 - y_1)^2 + (x_1 - x_3)^2] \quad (3.31f)$$

$$K_{33}^{(e)} = \frac{1}{4A} [(y_1 - y_2)^2 + (x_2 - x_1)^2] \quad (3.31g)$$

dir ayrıca

$$K_{21}^{(e)} = K_{12}^{(e)}, \quad K_{31}^{(e)} = K_{13}^{(e)}, \quad K_{32}^{(e)} = K_{23}^{(e)} \quad (3.32)$$

III.2.3. Sonlu Elemanların Birleştirilmesi

Sonlu elemanlar yönteminin ikinci adımı, çözüm bölgesindeki bütün elemanların birleştirilmesidir. n düğüm sayısı, N eleman sayısı ve $[K]$ bölgenin tüm (global) katsayılar matrisi (her bir elemanın katsayılar matrisinin birleştirilmesinden elde edilmektedir) ve

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

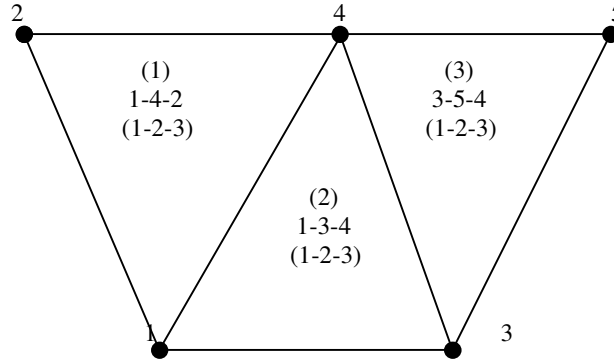
olmak üzere elemanların birleştirilmesi durumunda çözüm bölgesinin enerji denklemi [35],

$$W = \sum_{e=1}^N W^{(e)} = \frac{1}{2} \varepsilon [V]^T [K] [V] \quad (3.34)$$

şeklinde elde edilir.

Bölgenin (global) katsayılar matrisini elde etmek için her bir elemanın katsayılar matrisinin birleştirilmesi yöntemi şu şekilde açıklanabilir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi üç elemanlı bir sonlu eleman grubu gözönüne alındığında düğüm noktalarındaki. 1, 2, 3, 4, 5 numaraları, düğümlerin global olarak numaralandırılışını. i, j, k numaralandırılması ise her bir elemana ilişkin numaralandırmayı ifade eder. Bir elemana ilişkin numaralandırma yerel numaralandırma olarak adlandırılır ve Şekil 3.5'deki 1-2-3 numaralandırılışa uyar. Örneğin Şekil 3.6'daki 3 nolu elemanın 1-2-3 numaralandırılışı Şekil 3.5'deki elemanın numaralandırılışına uygundur. Yerel numaralandırma saat ibresinin tersi yönünde olmak üzere elemanın herhangi bir düğümünden başlayabilir. Örneğin 3 nolu eleman için 3-5-4 yerine, yine Şekil 3.5'deki sıralamaya uygun olmak üzere 4-3-5 numaralandırması da yapılabilir. Böylece ele alınan her bir eleman için tek bir numaralandırmanın olmadığı görülmektedir. Şekil 3.6'daki numaralandırma için global katsayılar matrisi yazılmak istenildiğinde, düğüm sayısı 5 olduğu için elde edilecek matris 5×5 boyutunda olacaktır.

Burada da K_{ij} , i ve j düğümleri arasındaki bağıntıyı göstermektedir. K_{ij} elemanlar arasındaki potansiyel dağılımın sürekli olması gerekliliğinden yola çıkılarak elde edilir. i ve j nin $[K]$ deki konumları elemanların i ve j düğümlerini kapsayıp kapsamamasına göre belirlenir. Şekil 3.6. için $[K]$ matrisi (3.35) deki gibi olur [2, 35].



Şekil 3.6 Üç elemanlı sonlu eleman ağ parçası

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

Örneğin Şekil 3.6'daki 1 ve 2 elemanlarının her ikisi de 1 düğümünü kapsamaktadır. Bu nedenle

$$K_{11} = K_{11}^{(1)} + K_{11}^{(2)} \quad (3.36)$$

olmaktadır. 2 nolu düğüm ise sadece 1 elemanına ait olduğundan

$$K_{22} = K_{33}^{(1)}, \quad (3.37)$$

4 nolu düğüm 1, 2, 3 elemanlarına ait olduğundan

$$K_{44} = K_{22}^{(1)} + K_{33}^{(2)} + K_{33}^{(3)}, \quad (3.38)$$

1 ve 4 düğümleri 1 ve 2 elemanlarının ortak düğümleri olduğu için

$$K_{14} = K_{41} = K_{12}^{(1)} + K_{13}^{(2)}, \quad (3.39)$$

2 ve 3 düğümleri arasında bir bağlantı (veya doğrudan bir hat) olmadığından

$$K_{23} = K_{32} = 0 \quad (3.40)$$

olur.

Aynı şekilde devam edildiğinde Şekil 3.6. için katsayılar matrisinin tüm elemanları elde edilir.

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11}^{(1)} + K_{11}^{(2)} & K_{13}^{(1)} & K_{12}^{(2)} & K_{12}^{(1)} + K_{13}^{(2)} & 0 \\ K_{31}^{(1)} & K_{33}^{(1)} & 0 & K_{32}^{(1)} & 0 \\ K_{21}^{(2)} & 0 & K_{22}^{(2)} + K_{11}^{(3)} & K_{23}^{(2)} + K_{13}^{(3)} & K_{12}^{(3)} \\ K_{21}^{(1)} + K_{31}^{(2)} & K_{23}^{(1)} & K_{32}^{(2)} + K_{31}^{(3)} & K_{22}^{(1)} + K_{33}^{(2)} + K_{33}^{(3)} & K_{32}^{(3)} \\ 0 & 0 & K_{21}^{(3)} & K_{23}^{(3)} & K_{22}^{(3)} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Katsayılar matrisinin elemanlarında düğümlerin elemanlarca ortak kullanılması nedeni ile kesişmeler olacaktır. Matriste her bir eleman için 9 terim olmak üzere toplam 27 terim vardır.

Katsayılar matrisinin özellikleri şöyle sıralanabilir [2, 35].

1. Katsayılar matrisi simetriktir ($K_{ij} = K_{ji}$)
2. $K_{ij} = 0$ ifadesi i ve j düğümleri arasında bağlantı olmadığını gösterir. Çok sayıda eleman olması halinde katsayılar matrisi seyrek ve band matris haline gelir.
3. Tekil matristir.

III.2.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Transformatörde Alan Dağılımının Çözümü

Elektrik mühendisliğinin konusu olan transformatör, motor, generatör gibi elektrik makinalarında magnetik akı dağılımının ve magnetik alana ilişkin büyüklüklerin belirlenmesi için analog veya sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Analog yöntemlerin zorlukları ve yetersizlikleri sayısal yöntemleri öne geçirmektedir. Elektromagnetik alan problemlerinin çoğu ya kısmi türevli, ya da kısmi integralli denklemleri içerir. Kısmi türevli denklemler sonlu farklar (SFY) ya da sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile çözülebilir [20]. Magnetik alan problemlerinin çözümünde kullanılan sayısal yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi ile magnetik akı yoğunluğunun {magnetik endüksiyonun) sayısal çözümünü elde etmek için, ele alınan alan bölgesi sonlu küçük elemanlardan oluşan bir ağ ile bölünerek bu ağın düğümlerindeki vektörel magnetik potansiyeller hesaplanır. Bu hesaplama, sonlu sayıdaki bilinmeyen büyüklüğün sistemin bilinenleri cinsinden yazılması, yani bilinmeyen büyüklüklerin sistemden ayırt edilmesi veya bir tarafta toplanması esasına dayanır.

Elektrik makinalarında örneğin transformatörlerde kaçak akının bilinmesi, kaçak akı reaktansının, kısa devre kuvvetlerinin ve girdap akımlarının hesabı için gereklidir Bu nedenle bu hesabın transformatör tasarımcıları için özel bir önemi vardır.

Sonlu elemanlar yöntemi, (tersi de geçerli olmak üzere) toplam magnetik enerjiyi minimuma indirgeyen çözümün, aynı zamanda Poisson denklemini sağlayan çözüm olması ilkesine dayanır. İlkeden de anlaşıldığı gibi, sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekte Poisson denklemi gibi ikinci derece bir diferansiyel denklemin sayısal çözümü yapılmaktadır. SEY ile bir, iki veya üç boyutlu magnetik alan problemleri çözülebilir.

III.2.5. Denklemlerin Elde Edilmesi

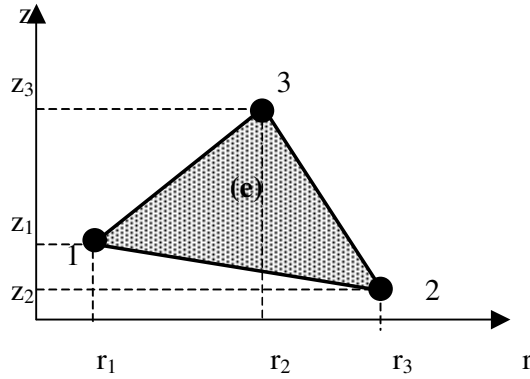
Polar koordinatlarda tanımlanan iki model vardır. Bunlardan biri, akım taşıyan dairesel bir bölümün neden olduğu alanın, magnetik ve antimagnetik materyalin halka şeklindeki bölgesidir. Bu olay için analitik çözüm vardır [39]. Diğerisi ise, oluk içindeki uniform akım yoğunluklu oluk adımıdır. Bu olay için hiçbir analitik çözüm uygun değildir [40, 41, 42, 43].

Eksenel ve radyal yönler Şekil 3.7 de gösterildiği gibidir. z ekseni simetri eksenidir ve pozitif tanjant θ yönü aşağıya doğru işaretlenmiştir. Pozitif θ yönlü bir akım için magnetik vektör potansiyeli $\vec{A}$, pozitif θ yönünde işaretlenir. Diğer yandan $\vec{B}$ akım yoğunluğu

$$B_r = -\frac{\partial A}{\partial z} \quad (3.42)$$

$$B_z = \frac{A}{r} + \frac{\partial A}{\partial r} \quad (3.43)$$

bileşenlerine sahiptir.



Şekil 3.7 Silindrisel koordinatlarda bir üçgen eleman

Magnetik alanın hesaplandığı bölge, θ yönünde ve bir radyan derinliğinde üçgen elemanlara bölünmüştür. Problem iki boyutlu olarak ele alındığından genelde birinci derece bir polinom yaklaşım işlevi olarak seçilebilir. Bir elemanın içinde $\vec{A}$ vektör potansiyelinin doğrusal değiştiği kabul edilirse, yaklaşım işlevi

$$A = a + br + cz \quad (3.44)$$

olacaktır. Eleman içindeki akı yoğunluğunun radyal bileşeninin sürekli eşdeğeri B_r

$$B_r = -\frac{\partial A}{\partial z} = -c \quad (3.45)$$

olurken, eksenel bileşen B_z ise,

$$B_z = \frac{A}{r} + b \quad (3.46)$$

olacaktır.

Ancak sayısal çözümlerde kütle merkezindeki B_z eksenel bileşeninin tüm üçgeni temsil edebilmesi için üçgenin yeterince küçük olması gerekir. Merkezdeki eksenel alan bileşeni

$$B_z = \frac{A_c}{r_c} + b \quad (3.47)$$

şeklinde belirtilir.

Elemanın içindeki değişimin doğrusal olmasından dolayı kütle merkezindeki A_c vektör potansiyeli; 1, 2, 3 düğümlerin ortalamasıdır ve

$$A_c = \frac{1}{3} (A_1 + A_2 + A_3) \quad (3.48)$$

dür. Toplam (bileşke) akı yoğunluğu

$$B = \sqrt{B_r^2 + B_z^2} \quad (3.49)$$

dir (3.45), (3.47), (3.49)' da yerine konursa,

$$B = \sqrt{c^2 + b^2 + \frac{2A_c b}{r_c} + \left(\frac{A_c}{r_c}\right)^2} \quad (3.50)$$

olur. 1, 2, 3 noktaları için (3.44)' deki bulunan eşitlik ayrı ayrı yazılırsa,

$$\begin{aligned} A_1 &= a + br_1 + cz_1 \\ A_2 &= a + br_2 + cz_2 \\ A_3 &= a + br_3 + cz_3 \end{aligned} \quad (3.51)$$

olur. Bu eşitlik matrisel formda yazıldığında,

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & z_1 \\ 1 & r_2 & z_2 \\ 1 & r_3 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

a, b, c katsayıları

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & z_1 \\ 1 & r_2 & z_2 \\ 1 & r_3 & z_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

şeklinde bulunur.

$$a = \frac{\begin{vmatrix} A_1 & r_1 & z_1 \\ A_2 & r_2 & z_2 \\ A_3 & r_3 & z_3 \end{vmatrix}}{2S} = \frac{1}{2S} [(r_2 z_3 - r_3 z_2)A_1 - (A_2 z_3 - A_3 z_2)r_1 + (A_2 r_3 - A_3 r_2)z_1]$$

$$a = \frac{1}{2S} [(r_2 z_3 - r_3 z_2)A_1 - r_1 A_2 z_3 + r_1 A_3 z_2 + A_2 r_3 z_1 - A_3 r_2 z_1] \quad (3.54)$$

$$a = \frac{1}{2S} [(r_2 z_3 - r_3 z_2)A_1 + (r_3 z_1 - r_1 z_3)A_2 + (r_1 z_2 - r_2 z_1)A_3]$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} 1 & A_1 & z_1 \\ 1 & A_2 & z_2 \\ 1 & A_3 & z_3 \end{vmatrix}}{2S} = \frac{1}{2S} [(z_3 A_2 - A_3 z_2) - (z_3 - z_2)A_1 + (A_3 - A_2)z_1] \quad (3.55)$$

$$b = \frac{1}{2S} [(z_2 - z_3)A_1 + (z_3 - z_1)A_2 + (z_1 - z_2)A_3]$$

$$c = \frac{\begin{vmatrix} 1 & r_1 & A_1 \\ 1 & r_2 & A_2 \\ 1 & r_3 & A_3 \end{vmatrix}}{2S} = \frac{1}{2S} [(r_2 A_3 - r_3 A_2) - (A_3 - A_2)r_1 + (r_3 - r_2)A_1] \quad (3.56)$$

$$c = \frac{1}{2S} [(r_3 - r_2)A_1 + (r_1 - r_3)A_2 + (r_2 - r_1)A_3]$$

$$2S = [(z_2 - z_1)r_1 + (z_1 - z_3)r_3 + (r_2 - r_1)(z_3 - z_1)]$$

$$2S = r_1 z_2 - r_1 z_1 + r_3 z_1 - r_3 z_3 + r_2 z_3 - r_2 z_1 - r_1 z_3 - r_1 z_1 \quad (3.57)$$

$$2S = (r_2 z_3 - r_3 z_2) + (r_3 z_1 - r_1 z_3) + (r_1 z_2 - r_2 z_1)$$

Bu bağıntılarda S bir üçgenin alanını göstermektedir ve hangi düğümden başladığı önemli olmaksızın düğüm numaraları 1, 2, 3 ün saat yönüne ters sıralanıyorsa pozitif değerlidir.

Bir Ω bölgesindeki toplam magnetik enerji

$$W = \iint_{\Omega} \left(\int_0^B \frac{1}{\mu} B dB \right) r dr dz - \iint_{\Omega} J A r dr dz \quad (3.58)$$

dir. Burada;

μ = Magnetik geçirgenlik,

J =Akım yoğunluğu,

A= Vektörel magnetik potansiyel'dir.

Bilindiği gibi varyasyonel hesap yönteminde Poisson denklemi toplam enerjinin minimum olması esas alınarak çözülür. Bu durumda, uçlardaki bütün vektör potansiyellerine göre kısmi türevi

$$\frac{\partial W}{\partial A} = 0 \quad (3.59)$$

dır. Bir tek üçgen eleman için enerji

$$W^{(e)} = W_1^{(e)} + W_2^{(e)} \quad (3.60)$$

şeklinde yazılabilir.

$$W_1^{(e)} = \iint \left(\int_0^B \frac{1}{\mu} B dB \right) r dr dz \quad (3.61)$$

$$W_2^{(e)} = \iint - J A r dr dz \quad (3.62)$$

dir. 1 düğümündeki vektör potansiyele göre $W_1^{(e)}$ in kısmi türevi

$$\frac{\partial W_1^{(e)}}{\partial A_1} = \iint \left(\frac{\partial}{\partial B} \int_0^B \frac{1}{\mu} B dB \frac{\partial B}{\partial A_1} \right) r dr dz = \iint \left(\frac{1}{\mu} B \frac{\partial B}{\partial A_1} \right) r dr dz \quad (3.63)$$

şeklinde bulunur. (3.48) ve (3.50) bağıntılarından

$$\frac{\partial B}{\partial A_1} = \frac{1}{2B} \frac{\partial(B^2)}{\partial A_1} \quad (3.64)$$

$$\frac{\partial B}{\partial A_1} = \frac{1}{2B} \left(2c \frac{\partial_c}{\partial A_1} + 2b \frac{\partial b}{\partial A_1} + \frac{2b}{r_c} \frac{\partial A_c}{\partial A_1} + \frac{2A_c}{r_c} \frac{\partial b}{\partial A_1} + \frac{2A_c}{r_c^2} \frac{\partial A_c}{\partial A_1} \right) \quad (3.65)$$

$$\frac{\partial B}{\partial A_1} = \frac{1}{2B} \left(2c \frac{\partial_c}{\partial A_1} + 2b \frac{\partial b}{\partial A_1} + \frac{2b}{3r_c} + \frac{2A_c}{r_c} \frac{\partial b}{\partial A_1} + \frac{2A_c}{3r_c^2} \right) \quad (3.66)$$

elde edilir.

$$\frac{1}{\mu} B \frac{\partial B}{\partial A_1} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{c}{2S} (r_3 - r_2) + \frac{b}{2S} (z_2 - z_3) + \frac{1}{3r_c} \left(b + \frac{3A_c}{2S} (z_2 - z_3) + \frac{A_c}{r_c} \right) \right] \quad (3.67)$$

şeklinde elde edilir. (3.67) bağıntısını 2S'nin üçgen alanının iki katı olduğu göz önüne alınarak (3.63) de yerine konulursa,

$$\frac{\partial W_1^{(e)}}{\partial A_1} = \frac{r_c}{2\mu} \left[(z_2 - z_3)b + (r_3 - r_2)c + \frac{1}{3r_c} \left(2Sb + 3A_c(z_2 - z_3) + 2S \frac{A_c}{r_c} \right) \right] \quad (3.68)$$

elde edilir.

$$W_2^{(e)} = \iint -JA_r dr dz \quad (3.69)$$

bağıntısından faydalanarak

$$W_2^{(e)} = -JA_c r_c \frac{2S}{2} = (-JA_c r_c S) \quad (3.70a)$$

$$W_2^{(e)} = -J \left[\frac{1}{3} (A_1 + A_2 + A_3) \right] r_c S \quad (3.70b)$$

bağıntılarından

$$\frac{\partial W_2^{(e)}}{\partial A_1} = \left(-\frac{1}{6} J r_c 2S \right) \quad (3.71)$$

elde edilir. 1 düğümünün potansiyeline göre toplam enerjinin kısmi türevi alınırken sadece 1 düğümüne komşu olan üçgenlerin enerjilerinin toplamının dikkate alınması gerekir. (3.60) eşitliğinden

$$\sum_{e=1}^{n_c} \frac{\partial W^{(e)}}{\partial A_1} = \sum_{e=1}^{n_c} \frac{\partial}{\partial A_1} (W_1^{(e)} + W_2^{(e)}) = 0 \quad (3.72)$$

yazılabilir.

$$\begin{aligned} \sum \frac{\partial W_1^{(e)}}{\partial A_1} &= \sum A_1 \frac{1}{\mu} \left(\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)^2 + (r_3 - r_2)^2] + \frac{1}{3} (z_2 - z_3) + \frac{2S}{18r_c} \right) \\ &+ \sum A_2 \frac{1}{\mu} \left(\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)(z_3 - z_1) + (r_3 - r_2)(r_1 - r_3)] + \frac{1}{6} (z_2 - z_1) + \frac{2S}{18r_c} \right) \\ &+ \sum A_3 \frac{1}{\mu} \left(\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)(z_1 - z_2) + (r_3 - r_2)(r_2 - r_1)] + \frac{1}{6} (z_1 - z_3) + \frac{2S}{18r_c} \right) \end{aligned} \quad (3.73)$$

Her bir üçgen için

$$\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)^2 + (r_3 - r_2)^2] + \frac{1}{3} (z_2 - z_3) + \frac{2S}{18r_c} = m_1^{(e)} \quad (3.74)$$

$$\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)(z_3 - z_1) + (r_3 - r_2)(r_1 - r_3)] + \frac{1}{6} (z_2 - z_1) + \frac{2S}{18r_c} = m_2^{(e)} \quad (3.75)$$

$$\frac{r_c}{4S} [(z_2 - z_3)(z_1 - z_2) + (r_3 - r_2)(r_2 - r_1)] + \frac{1}{6} (z_1 - z_3) + \frac{2S}{18r_c} = m_3^{(e)} \quad (3.76)$$

dersek,

$$\sum \frac{\partial W_1^{(e)}}{\partial A_1} = \sum A_1 \frac{1}{\mu} m_1^{(e)} + \sum \left(A_2 \frac{1}{\mu} m_2^{(e)} + A_3 \frac{1}{\mu} m_3^{(e)} \right) \quad (3.77)$$

olur. (3.71) bağıntısı

$$\sum \frac{\partial W_2^{(e)}}{\partial A_1} = -\frac{1}{6} \sum J_{r_c} 2S = m^{(e)} \quad (3.78)$$

şeklinde yazılırsa,

$$\sum \frac{\partial W^{(e)}}{\partial A_1} = \sum \frac{\partial}{\partial A_1} (W_1^{(e)} + W_2^{(e)}) = 0 \quad (3.79)$$

$$\sum \frac{\partial W^{(e)}}{\partial A_1} = \sum A_1 \frac{1}{\mu} m_1^{(e)} + \sum \left(A_2 \frac{1}{\mu} m_2^{(e)} + A_3 \frac{1}{\mu} m_3^{(e)} \right) + m^{(e)} = 0 \quad (3.80)$$

$$A_1 = -\frac{1}{\sum \frac{1}{\mu} m_1^{(e)}} \left[\sum \left(A_2 \frac{1}{\mu} m_2^{(e)} + A_3 \frac{1}{\mu} m_3^{(e)} \right) + m^{(e)} \right] \quad (3.81)$$

elde edilir.

Bu eşitlik, iki boyutlu alan için tamamen uygundur. Bir noktadaki vektör potansiyel, onu çevreleyen noktaların bir fonksiyonudur. Bütün bölgeler için çözüm aynı yolla bulunur.

III.3. Sonlu Farklar Yöntemi

Sonlu farklar yöntemi (SFY), kısmi türevli denklemlerin çözümünde kullanılan sayısal bir yöntemdir. Yöntem, diferansiyel denklemlerdeki türevler yerine sonlu fark karşılıklarının kullanılmasına dayanır. Başlangıcı C.F. Gauss'a (1777-1855) kadar uzanan bu yöntem, Boltzmann'ın 1892'de Münih'te öğrencilerine Laplace denkleminin çözümünde fark denklemlerinin kullanımını göstermiş olmasına rağmen 1940'lardan sonra yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. SFY ile elektrik ve magnetik alan problemlerinin incelenmesi ve genel kısmi türevli denklemlerin çözümü, üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. SFY yönteminin basit aritmetik ve trigonometrik bilgi ile uygulanabilmesi, direnç benzetim yöntemi ile benzerliği ve bilgisayara kolay uyarlanıp programlanabilmesi, bu sayısal yöntemin daha kolay anlaşılmasını ve yaygınlaşmasını sağlamıştır.

SFY ile bir alan problemi, sınır koşulları verilen, yani sınırları üzerinde bazı alan büyüklükleri bilinen sınırlı bir bölge içinde incelenir. Göz önüne alınan bölgede

potansiyel dağılımın sürekli olduğu kabul edilir. Alan dağılımının bulunacağı bölgede belirli noktalar için yazılan sonlu fark eşitliklerinin oluşturduğu doğrusal denklem sisteminin çözülmesiyle bu noktalardaki potansiyel değerleri elde edilir. Bu değerlerden yararlanarak eşpotansiyel çizgiler çizilebilir, alan dağılımı elde edilebilir [2]. Ancak yapılan her sayısal işlemle sınırlı bir bilgi sağlanır. Bölgedeki veya küçük bir bölümündeki alan bilgilerini elde edebilmek için bölgede öncelikle düğüm noktaları adı verilen belirli noktaların gösterilmesi gerekir. Bu noktalar, bölge üzerine çizilen ağ veya ızgaranın düğüm noktalarıdır. SFY'de genel olarak düzgün gözlerden oluşan ağlar kullanılır. Düzgün olmayan bir ağ ile türevsel denkleme karşılık gelen fark denklemlerinin yazılımı ve çözümü çok zordur. Bu nedenle sayısal hesaplarda düzgün olmayan ağ ile çalışmaktan kaçınılır. Bir bölgeyi örten bir ağ, kare, üçgen, altıgen veya çokgen (poligon) gözlerden oluşabilir. Fakat genelde düzgün bir ağın gözleri, kare veya eşkenar üçgendir. Bu kare veya üçgen gözlerden oluşan ağlar her zaman problemin sınırları içine tam olarak uymayabilir. Bu nedenle, öncelikle düğümleri sınırlara yerleştirebilen ve bölgeye uyan dikdörtgen gözlerden oluşmuş bir ağ için fark denklemleri çıkarılır. Kare, dikdörtgenin özel bir durumu olduğundan, elde edilen sonuçlar istenirse kare gözlü ağlarda uygulanabilir. Bu çıkarımla düzensiz ağ kullanmanın getireceği zorluklar da görülmüş olacaktır [44].

Sonlu farklar yöntemi ile çözümde, ayrık noktalar kümesinde çözüm elde etmek için sayısal çözümlemede geniş kullanım alanına sahip olan sonlu fark işlemlerinden yararlanılır. Bu yöntemde sonlu fark işlemlerinin ileri, geri veya merkezi sonlu farklar gibi türleri kullanılarak çözüm yapılabilir. Sonlu fark işlemleri, kısaca kullanılan fark işleminin türünü gösteren işleçler ile gösterilir. İleri fark Δ (büyük delta) işleci ile, geri fark ∇ (nabla) işleci ile, merkezi fark ise δ (küçük delta) işleci ile gösterilirse, sırasıyla bir $f(x)$ işlevi için genel olarak birinci mertebeden ileri fark [2, 13]

$$\Delta f_i = f_{i+1} - f_i \quad (3.82)$$

şeklinde, ikinci dereceden ileri fark

$$\Delta^2 f_i = f_{i+2} - 2f_{i+1} + f_i \quad (3.83)$$

şeklinde, n. dereceden ileri fark

$$\Delta^n f_i = \Delta(\Delta^{n-1} f_i) = \Delta^{n-1} f_{i+1} - \Delta^{n-1} f_i \quad (3.84)$$

şeklinde olur. Birinci dereceden geri fark

$$\nabla^2 f_i = f_i - 2f_{i-1} + f_{i-2} \quad (3.85)$$

şeklinde, n. dereceden geri fark ise

$$\nabla^n f_i = \nabla^{n-1} f_i - \nabla^{n-1} f_{i-1} \quad (3.86)$$

şeklinde olur. Birinci dereceden merkezi fark

$$\delta f_i = \delta f_{i+1/2} - \delta f_{i-1/2} \quad (3.87)$$

şeklinde, n. dereceden merkezi fark ise

$$\delta^n f_i = \delta^{n-1} f_{i+1/2} - \delta^{n-1} f_{i-1/2} \quad (3.88)$$

olarak tanımlanır. İndislerle yapılan bu tanımlarda, noktalar arasındaki uzaklık veya fark aralığı h ile gösterilirse,

$$f_i = f(x) \quad (3.89)$$

$$f_{i+1} = f(x+h) \quad (3.90)$$

$$f_{i-1} = f(x-h) \quad (3.91)$$

$$f_{i+1/2} = f\left(x + \frac{h}{2}\right) \quad (3.92)$$

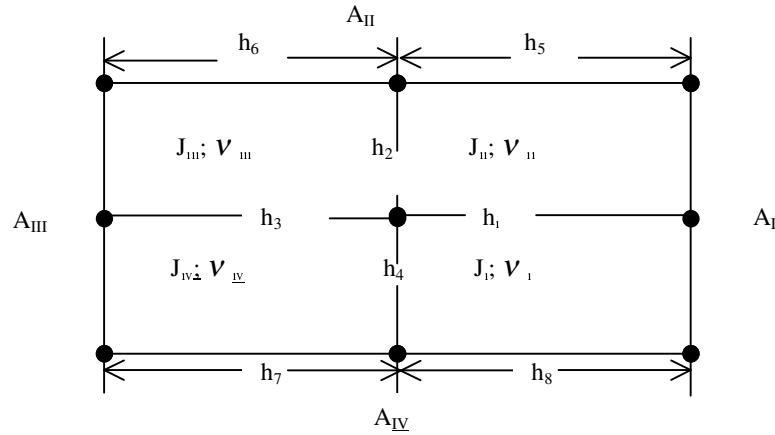
$$f_{i-1/2} = f\left(x - \frac{h}{2}\right) \quad (3.93)$$

şeklinde yazılabilir.

III.3.1. Magnetik Alan Problemlerinin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü

Sonlu farklar yöntemi, magnetik alan problemlerinin özellikle elektrik makinalarının analizi ve tasarımında önemli bir yer tutmaktadır. Elektrik makinalarındaki elektromagnetik alan problemlerinin genel topolojik dönüşüm formülleri mevcuttur[37, 45-51]. Elektrik makinalarının tasarımı ile ilgili iki önemli eşitlik, Laplace ve Poisson eşitlikleridir. Bu incelemeler problemin durumuna göre magnetik Laplace veya Poisson denklemi ile gerçekleştirilir. Laplace denklemi, Poisson denkleminin özel durumudur ve bu durumda akım yoğunluğu $j = 0$ dır. Problemler lineer ve lineer olmayan problemler olmak üzere iki bölümde incelenir.

III.3.2. Lineer Problemlerin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü



Şekil 3.8 Tek Simetri Eksenli Dörtgen Ağ Bloğu

A vektörel magnetik potansiyelin z bileşeni, ν ($\nu = 1/\mu$) malzemenin magnetik direnci, μ magnetik geçirgenlik ve J akım yoğunluğunun z bileşeni olmak üzere kartezyen koordinatlarda iki boyutlu magnetik Poisson denklemi.

$$\nu \{ \partial^2 A / \partial x^2 + \partial^2 A / \partial y^2 \} = -j \quad (3.94)$$

dir [52]. Bu denklemin sonlu fark yöntemi ile çözümlemede kullanılabilmesi için sonlu fark denklemi biçimine getirilmesi gerekir. Birinci derecede sonlu fark algoritmasına göre magnetik Poisson denkleminin sonlu fark denklemi biçimi,

$$A_0 = \{I_0 + \alpha_I A_I + \alpha_{II} A_{II} + \alpha_{III} A_{III} + \alpha_{IV} A_{IV}\} / (\alpha_I + \alpha_{II} + \alpha_{III} + \alpha_{IV}) \quad (3.95)$$

olarak elde edilir. Problemin çözüm ağının düzgün olmayan bir ağ olduğu düşünüldüğünde eşitlikteki büyüklükler,

$$I_0 = \frac{1}{8} \{J_I (h_I + h_8) h_4 + J_{II} (h_I + h_5) h_2 + J_{III} (h_3 + h_6) h_2 + J_{IV} (h_3 + h_7) h_4\} \quad (3.96)$$

$$\alpha_I = \frac{(v_{II} h_2 + v_I h_4)}{2h_1} \quad (3.97)$$

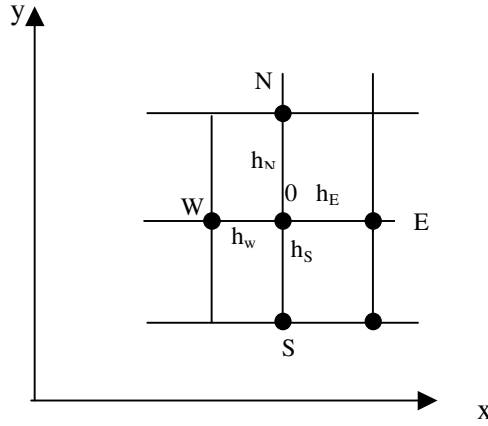
$$\alpha_{II} = \frac{\{v_{II} (h_1 + h_5) + v_{III} (h_3 + h_6)\}}{4h_2} \quad (3.98)$$

$$\alpha_{III} = \frac{(v_{III} h_2 + v_{IV} h_4)}{2h_3} \quad (3.99)$$

$$\alpha_{IV} = \frac{\{v_{IV} (h_3 + h_7) + v_I (h_I + h_8)\}}{4h_4} \quad (3.100)$$

dir. Burada α katsayıları sabit katsayılardır.

III.3.3. Lineer Olmayan Problemlerin Sonlu Farklar Yöntemi ile Çözümü



Şekil 3.9 Düzgün olmayan ağ bloğu

Bir malzemenin magnetik direnci ν ($\nu = 1/\mu$), magnetik akı yoğunluğu B ise, magnetik vektör potansiyel ile yazılan iki boyutlu Poisson denklemi,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J \quad (3.101)$$

olur [53-56]. Akım yoğunluğunun ve ortamın magnetik direncinin bölgenin her noktasında sabit olduğunu kabul ederek, sonlu fark denklemi elde edilebilir. Sonuç olarak düzgün olmayan bir ağ için lineer problemlerdekine benzer şekilde

$$A_0 = \frac{\left(J_0 + \sum_{i=1}^4 \alpha_i A_i \right)}{\sum_{i=1}^4 \alpha_i} \quad (3.102)$$

$$A_0 = \frac{[J_0 + (\alpha_W A_W + \alpha_E A_E + \alpha_S A_S + \alpha_N A_N)]}{(\alpha_W + \alpha_E + \alpha_S + \alpha_N)} \quad (3.103)$$

bulunur. (3.103)'de

$$J_0 = \frac{1}{4} (J_E h_S h_E + J_N h_E h_N + J_W h_N h_W + J_S h_W h_S) \quad (3.104)$$

$$\alpha_E = \frac{1}{2h_E} (v_E h_s + v_N h_N) \quad (3.105)$$

$$\alpha_W = \frac{1}{2h_W} (v_W h_N + v_S h_S) \quad (3.106)$$

$$\alpha_N = \frac{1}{2h_N} (v_N h_E + v_W h_W) \quad (3.107)$$

$$\alpha_S = \frac{1}{2h_S} (v_S h_W + v_E h_E) \quad (3.108)$$

dir. Düzgün ağ durumunda $h_W = h_E = h_N = h_S = h$ için, (3.102) ve (3.103)'deki

$$J_0 = \frac{h^2}{4} (J_E + J_N + J_S + J_W) \quad (3.109)$$

$$\alpha_E = \frac{1}{2} (v_E + v_N) \quad (3.110)$$

$$\alpha_W = \frac{1}{2} (v_W + v_S) \quad (3.111)$$

$$\alpha_N = \frac{1}{2} (v_N + v_W) \quad (3.112)$$

$$\alpha_S = \frac{1}{2} (v_S + v_E) \quad (3.113)$$

olur.

III.3.4. Sonlu Fark Denklemlerinin Çözüm Yöntemleri

Oluşturulan denklem sistemi, (3.114) veya (3.115)'deki gibi genel bir matris denklemini ile gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ a_{n1} & a_{n2} \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_n \end{bmatrix} \quad (3.114)$$

$$[A][V]=[b] \quad (3.115)$$

Burada a_{ij} elemanlarından oluşan iki boyutlu $[A]$ matrisine katsayılar matrisi denir. $[V]$ ve $[b]$ matrisleri ise sırası ile, V_i bilinmeyenleri ve b_i bilinen değerleri içeren sütun matrislerdir. $[A]$ matrisi simetrik, küresel ve band yapılıdır [53, 55, 57, 58].

Denklem sisteminin indirgeme işlemine V_i 'den başlanır ve ilk denklem a_{i1} ($i=2,3,...,n$) terimleri ile çarpılıp geri kalan $(n-1)$ kısım denklemden çıkarılır. Daha sonra aynı indirgeme işlemleri son denklemden sadece V_n , bir öncekinde ise V_{n-1} ve V_n kalıncaya kadar sürdürülür. Ve yerine koyma işlemleri ile bilinmeyen değerler elde edilir. Yani, V_n 'nin değeri n . denklemden bulunup $(n-1)$ 'de yerine konularak V_{n-1} ; V_{n-1} ve V_n , $(n-2)$ de yerine konularak V_{n-2} bulunur. Bilinmeyen diğer terimler de benzer şekilde bulunur.

$[A]$ matrisi sınır koşullarına, dolayısıyla $[b]$ matrisine bağlı olarak değişir. $[A]$ matrisinin özellikleri şunlardır:

1. Boyutu büyüktür.
2. Boyutu büyük olmasına rağmen elemanlarının çoğu sıfırdır. Bu şekildeki matrislere seyrek matris denir.
3. $[A]$ matrisi sınır koşullarına bağlı olan, çoğunlukla simetrik bir matristir

4. Köşegen baskındır. Yani, köşegendeki terimlerin büyüklüğü, köşegen dışında herhangi bir satırdaki terimlerin büyüklüklerinden daha büyük (kuvvetli baskın) veya eşittir (zayıf baskın).

Bu özelliklerden dolayı,

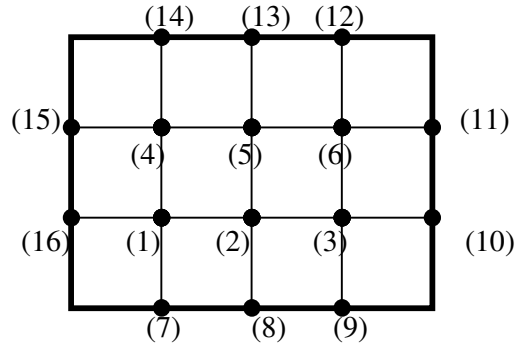
- $[A]$ matrisi zayıf, köşegen baskın, indirgenemeyen bir matris ise, tek bir çözüm vardır ($\det[A] \neq 0$).
- $[A]$ matrisi simetrik, pozitif köşegen elemanlı, indirgenemeyen ve zayıf köşegen baskın ise pozitif tanımlıdır.

Matris sistemi incelenirse; $[A]$ matrisi $m \times m$ boyutunda, kare matristir. Ayrıca $[B][T] = [T][B]$ yazılabilir [59-63].

Örnek Problem

Şekil 3.10'da sınırlarındaki potansiyel değerleri bilinen 12 gözlü ve 16 noktalı bir dikdörtgen bölge görülmektedir. Bölgede 1, 2, 3, 4, 5, 6 noktaları bölge içi noktalar; 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 noktaları sınır noktalarıdır. Bu problemdeki 1, 2, 3, 4, 5, 6 noktalarındaki potansiyel değerleri sonlu farklar yöntemi ile bulunuz.

$$V_{12}=V_{13}=V_{14}=100V, \quad V_7=V_8=V_9=V_{10}=V_{11}=V_{15}=V_{16}=0 \text{ Volt'tur}$$



Şekil 3.10. 16 noktalı dikdörtgen bölge.

Kartezyen koordinatlarda iki boyutlu Laplace denklemi

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} = 0$$

dır. Kare gözlerden ($h \times h$) oluşmuş bir ağ ile örtülü bir bölgede herhangi bir (x,y) noktası için ikinci mertebeden türevlerin merkezi sonlu fark yaklaşıkları

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \cong \frac{V(x+h, y) - 2V(x, y) + V(x-h, y)}{h^2}$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \cong \frac{V(x, y+h) - 2V(x, y) + V(x, y-h)}{h^2}$$

ile Laplace denkleminin sonlu fark yazılımı

$$V(x+h, y) + V(x-h, y) + V(x, y+h) + V(x, y-h) - 4V(x, y) = 0$$

olur. Buradan bir noktadaki (düğümdeki) potansiyeli hesaplamak için

$$V(x, y) = \frac{1}{4} [V(x+h, y) + V(x-h, y) + V(x, y+h) + V(x, y-h)]$$

veya alt indisli olarak,

$$V(i, j) = \frac{1}{4} [V_{i+1, j} + V_{i-1, j} + V_{i, j+1} + V_{i, j-1}]$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıyı kullanarak bölge içindeki her bir düğüm için (i=1,...,4, j=1,...,3)

$$(1) \text{ noktası için } V_1 = \frac{1}{4} (V_2 + V_4 + V_{16} + V_7)$$

$$(2) \text{ noktası için } V_2 = \frac{1}{4} (V_3 + V_5 + V_1 + V_8)$$

$$(3) \text{ noktası için } V_3 = \frac{1}{4} (V_{10} + V_6 + V_2 + V_9)$$

$$(4) \text{ noktası için } V_4 = \frac{1}{4} (V_5 + V_{14} + V_{15} + V_1)$$

$$(5) \text{ noktası için } V_5 = \frac{1}{4} (V_6 + V_{13} + V_4 + V_2)$$

$$(6) \text{ noktası için } V_6 = \frac{1}{4} (V_{11} + V_{12} + V_5 + V_3)$$

yazılır. Bilinen sınır potansiyelleri ile bilinmeyen iç nokta potansiyelleri bir tarafa toplanarak,

$$4V_1 - V_2 - V_4 = V_7 + V_{16}$$

$$-V_1 + 4V_2 - V_3 - V_5 = V_8$$

$$-V_2 + 4V_3 - V_6 = V_9 + V_{10}$$

$$-V_1 + 4V_4 - V_5 = V_{14} + V_{15}$$

$$-V_2 - V_4 + 4V_5 - V_6 = V_{13}$$

$$-V_3 - V_5 + 4V_6 = V_{11} + V_{12}$$

elde edilir. Bu denklemler matris biçiminde yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} 4 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 4 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 4 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 4 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_7 + V_{16} \\ V_8 \\ V_9 + V_{10} \\ V_{14} + V_{15} \\ V_{13} \\ V_{11} + V_{12} \end{bmatrix}$$

$$[A][x] = [B]$$

olur. Bu denklemde $[A]$ katsayılar matrisi, $[x]$ bilinmeyen potansiyellerden oluşan matris ve $[B]$ sınır koşulları bilinen potansiyeller matrisidir. Bu denklem sistemi çözülerek iç noktalardaki potansiyel değerleri bulunur.

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 100 \\ 100 \\ 100 \end{bmatrix}$$

olacaktır. $[A][x] = [B]$ denklem sisteminin çözümünden

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15,527 \\ 20,496 \\ 15,527 \\ 41,615 \\ 50,930 \\ 41,615 \end{bmatrix}$$

Volt bulunur.

III.4. Magnetik Alan Problemlerinde Akı Çizgilerinin Çizilmesi

Elektrik makinalarının magnetik alan problemlerinde, problemi matematiksel olarak modelleyen Laplace ve Poisson denklemleri; Maxwell denklemleri, hareketli bir ortam için ohm yasası ve

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{B} \quad (3.116)$$

vektörel magnetik potansiyel tanımı kullanılarak elde edilir. Örneğin bir elektrik makinasında rotor bölgesi için [2, 59]

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = \mu \sigma \left(j\omega A + v \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \quad (3.117)$$

(Poisson denklemi) diğer bölgeleri için

$$\frac{\partial^2 A_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial y^2} = 0 \quad (3.118)$$

(Laplace denklemi) kullanılır [2]. Bu denklemler yardımıyla çözüm bölgesindeki düğüm noktalarının vektörel magnetik potansiyelleri bulunur. Bu bilgilerden yararlanılarak vektörel eşpotansiyel çizgiler ve dolayısıyla magnetik akı çizgileri çizilebilir [2].

Vektörel eşpotansiyel çizgiler çizilirken, çözüm bölgesinde elemanlar üzerindeki bir noktanın vektörel potansiyel değerini hesaplamak yerine, elemanların kenarları üzerinde çizgisi çizilecek olan ve önceden belirlenen bir vektörel potansiyel değerine eşit potansiyelli noktaların koordinatları aranır. Bunun için çizilecek akı

izgilerinin vekt6rel potansiyel değerleri iki farklı yoldan biri ile 6nceden saptanmalıdır [2].

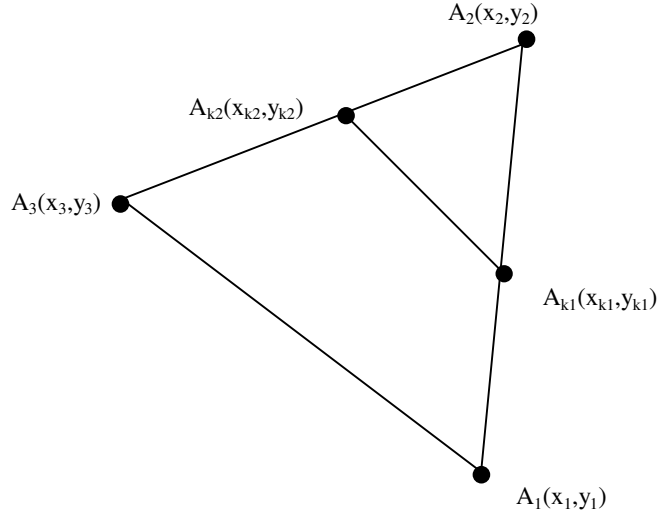
Bunlar,

1. izilecek toplam akı çizgisi sayısını belirlemek,
2. Akı çizgileri arasındaki potansiyel farkını belirlemektir.

1. Toplam akı çizgisi sayısı belirlenerek yapılan çizimde, 6z6m b6lgesindeki en k6uk vekt6rel potansiyel değeri ile en b6y6k vekt6rel potansiyel değeri arasındaki fark, belirlenen akı çizgisi sayısına b6l6nerek akı çizgileri arasındaki vekt6rel potansiyel fark bulunur. Bu fark, potansiyel çizgiler arasındaki artırım miktarı olarak tanımlanır. Bu y6ntemde en k6uk veya en b6y6k vekt6rel potansiyel değerli çizgiden başlayarak fark kadar artırımlarla diğer vekt6rel eşpotansiyel çizgileri çizilir. Çizim işlemi bittiğinde elde edilen akı çizgisi sayısı 6nceden belirlenen akı çizgisi sayısına eşit olur.

2. Akı çizgileri arasındaki farkın yani artırımların belirli bir değerde olması istenildiğinde de yine en k6uk veya en b6y6k vekt6rel potansiyel değerinden başlanarak çizim yapılır. Bir sonraki akı çizgisinin vekt6rel potansiyel değeri bir 6ncekinden artırım miktarı kadar farklı olur. Bu y6ntemde toplam çizgi sayısı, en b6y6k vekt6rel potansiyel değeri ile en k6uk vekt6rel potansiyel değeri arasındaki farkın, artırım miktarına oranı belirler.

Çizimi yapılacak akı (eşpotansiyel) izgisinin vekt6rel potansiyel değeri, her bir elemanın komşu iki d6ę6m6n6n vekt6rel potansiyel değeri ile karşılaştırılır. Eğer izimi yapılacak vekt6rel potansiyel değer, komşu iki d6ę6mden birinin vekt6rel potansiyel değerine eşit veya bu iki vekt6rel potansiyel değerin arasında bir değerde ise, bu komşu iki d6ę6m6 birleştiren kenar 6zerinde, mutlaka vekt6rel potansiyel değeri çizimi yapılacak vekt6rel potansiyel değere eşit bir nokta vardır. Bu karşılaştırmadan sonra eşpotansiyel noktanın koordinatı, komşu d6ę6mlerin koordinatlarından ve vekt6rel potansiyel değerlerinden yararlanılarak hesaplanır [2].



Şekil 3.11. Bir üçgen elemandan geçen vektörel eşpotansiyel çizgi (magnetik akı çizgisi)

Şekil 3.11’da çizgisi çizilen A_k vektörel potansiyel değeri A_1 ile A_2 vektörel potansiyel değerleri arasında ise, A_1 - A_2 kenar üzerinde vektörel potansiyel değer in doğrusal değiştiğini kabul ederek, vektörel potansiyel değeri A_k ’ya eşit olan $A_{k1}((x_{k1}, y_{k1}))$ noktasının koordinatları

$$x_{k1} = \frac{(A_1 - A_2)(x_1 - x_2)(A_1 - A_2)x_1}{A_2 - A_1} \quad (3.119)$$

$$y_{k1} = \frac{(A_1 - A_2)(y_1 - y_2)(A_1 - A_2)y_1}{A_2 - A_1} \quad (3.120)$$

denklemlerinden hesaplanır. Eğer bir elemanın bir kenarı üzerinde vektörel potansiyel değeri, çizgisi çizilecek akı çizgisinin vektörel potansiyel değerine eşit bir nokta var ise, bu elemanın diğer kenarlarından biri üzerinde de vektörel potansiyel değeri çizimi yapılacak akı çizgisinin vektörel potansiyel değerine eşit olan bir nokta mutlaka vardır. Aynı yöntemle bulunan $A_{k2}(x_{k2}, y_{k2})$ noktası ile $A_{k1}(x_{k1}, y_{k1})$ noktasını birleştiren doğru parçası vektörel eşpotansiyel doğru parçasıdır. Bütün elemanlar için bu işlem tekrarlanarak bulunan vektörel eşpotansiyel doğru parçalarının birleşiminden (elemanların yeterince küçük olmaları koşulu ile) vektörel bir potansiyel çizgi elde edilmiş olur [2].

BÖLÜM IV

Deney Transformatörünün ve Ölçü Bobinlerinin Tasarımı

IV.1. Deney Transformatörünün Tasarımı

Bu bölümde amacımız kaçak akı değerlerinin ölçümü için kullanacağımız deney transformatörünün, kaçak akı değerlerinin ölçülmesinde kullanılacak olan ölçü bobinlerinin, bu bobinlerin sarımı için kullanılacak olan kalıp ve hazırlanan bobinlerin konumlandırılacağı kartonun tasarımını gerçekleştirmektir.

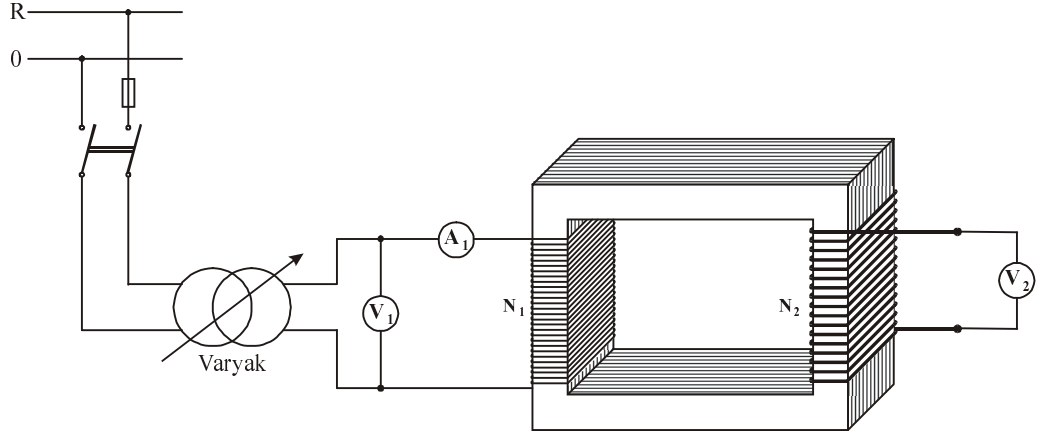
Deney transformatörünün lineer çalışma bölgesini tespit etmek amacıyla transformatör sacının yaklaşık mıknatıslama eğrisi çizilmiştir. Bu amaçla Şekil 4.1'deki deney bağlantısı oluşturulmuş ve Tablo 4.1'deki değerler alınmıştır.

Şekil 4.1'deki devrede primer sargıya uygulanan gerilim kademe kademe artırılırken, her kademe de sekonder sargı uçlarındaki gerilim ile primer sargısından geçen akım ölçülmüştür. Deneye primer sargıya uygulanan gerilim artırıldığı halde sekonder sargıdaki gerilim artmayınca, yani transformatör doyuma ulaşınca kadar devam edilmiştir. Tablo 4.1'deki ölçülen primer akım (I_1) ve sekonder gerilim

(U_2) değerleri verilmiştir. Bu değerlerle $B = \frac{U_2}{4,44 \cdot A_1 \cdot f_1 \cdot N_2}$ eşitliğinden magnetik

akı yoğunluğu B değerleri, $H = \frac{N_1 \cdot I_1}{l}$ eşitliğinden de magnetik alan şiddeti H

değerleri hesaplanmış [64] ve Tablo 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'de de hesaplanan değerlere göre çizilen mıknatıslama eğrisi verilmiştir.



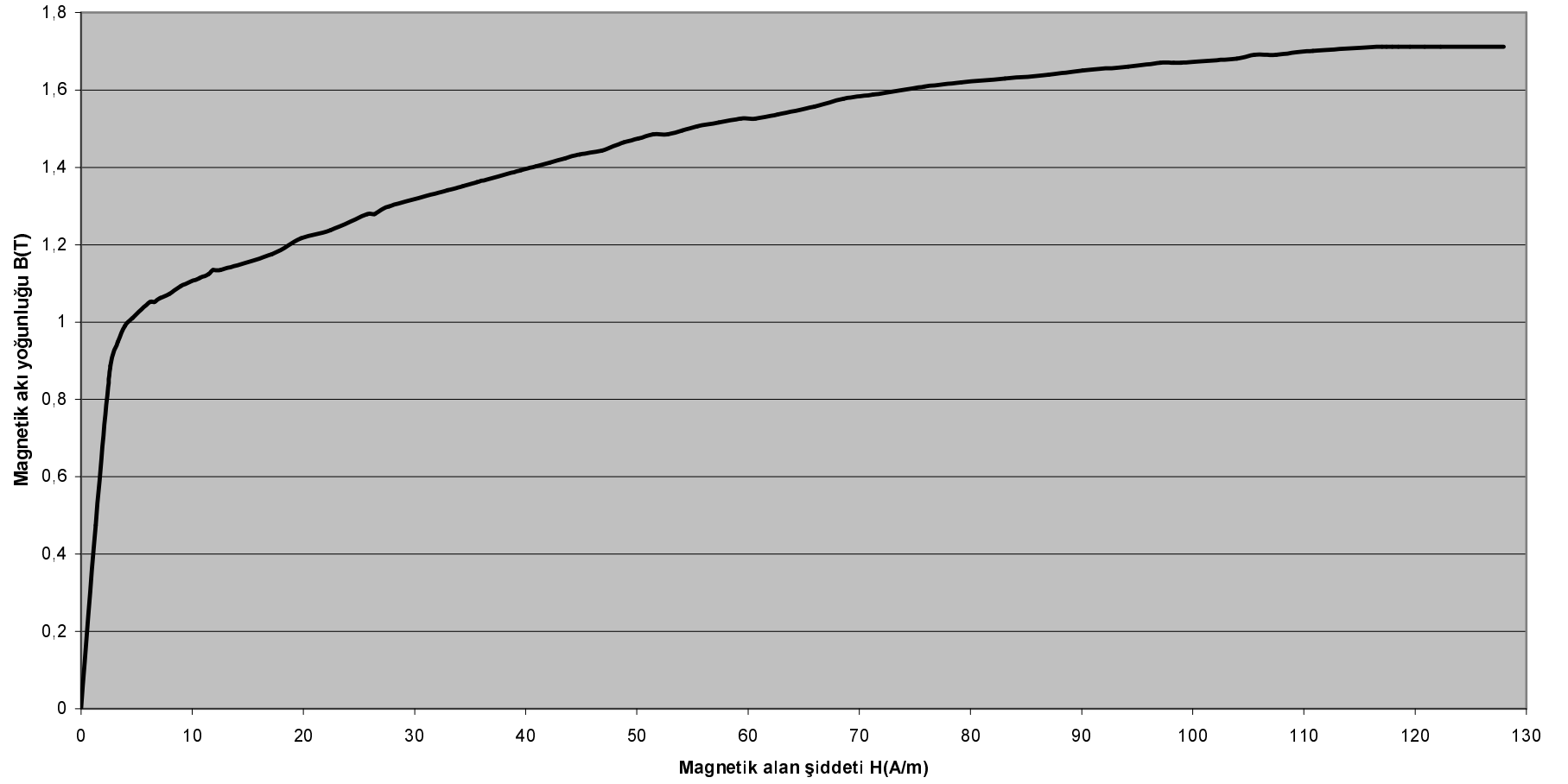
Şekil.4.1 Transformatör yapımında kullanılacak olan transformatör sacının yaklaşık mıknatıslama eğrisini elde etmek amacıyla oluşturulan deney bağlantı şeması

Tablo 4.1. Ölçülen primer akım ve sekonder gerilim değerleri

Sıra No	I_1 (A)	U_2 (V)	Sıra No	I_1 (A)	U_2 (V)	Sıra No	I_1 (A)	U_2 (V)	Sıra No	I_1 (A)	U_2 (V)
1	0,00	0,00	17	1,50	59,00	33	3,90	72,00	49	7,14	80,50
2	0,10	23,00	18	1,70	60,00	34	4,00	72,00	50	7,36	81,00
3	0,20	43,00	19	1,95	62,00	35	4,10	72,50	51	7,45	81,00
4	0,25	46,00	20	2,00	62,00	36	4,20	73,00	52	7,50	81,00
5	0,30	48,00	21	2,10	63,00	37	4,35	73,50	53	7,88	81,50
6	0,35	49,00	22	2,50	65,00	38	4,50	74,00	54	8,00	82,00
7	0,47	51,00	23	2,60	65,50	39	4,60	74,00	55	8,15	82,00
8	0,50	51,00	24	2,70	66,00	40	4,75	74,50	56	8,40	82,50
9	0,54	51,50	25	3,00	67,50	41	5,00	75,50	57	8,87	83,00
10	0,60	52,00	26	3,10	68,00	42	5,20	76,50	58	8,90	83,00
11	0,68	53,00	27	3,20	68,50	43	5,40	77,00	59	8,94	83,00
12	0,81	54,00	28	3,30	69,00	44	5,75	78,00	60	8,98	83,00
13	0,87	54,50	29	3,40	69,50	45	6,00	78,50	61	9,06	83,00
14	0,90	55,00	30	3,55	70,00	46	6,30	79,00	62	9,16	83,00
15	0,95	55,00	31	3,70	71,00	47	6,60	79,50	63	9,27	83,00
16	1,30	57,00	32	3,80	71,50	48	6,83	80,00	64	9,70	83,00

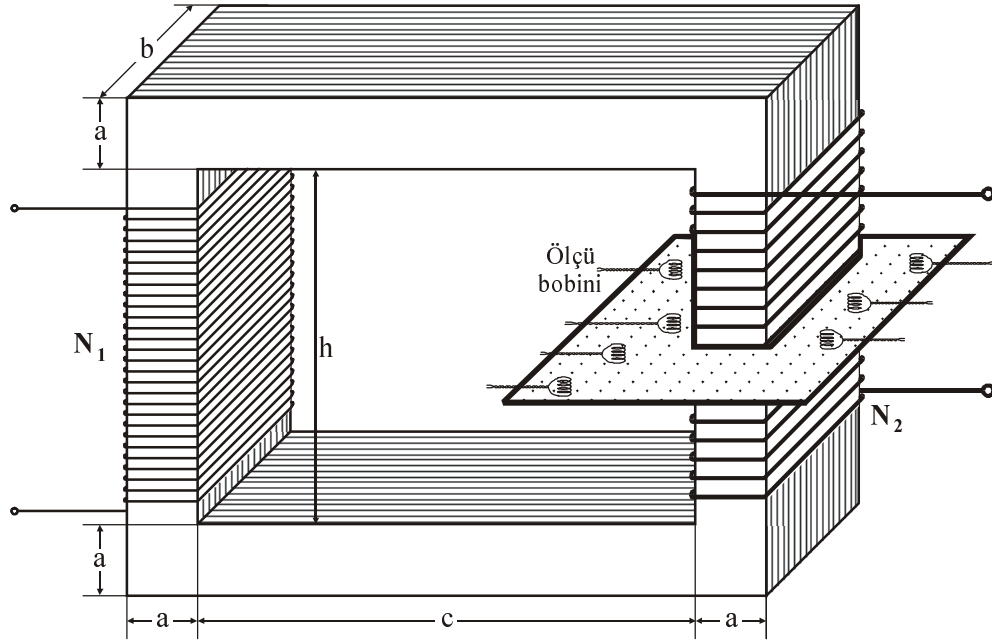
Tablo 4.2. Tablo 4.1’de verilen, ölçülen akım ve gerilim değerlerinden yararlanılarak hesaplanan B ve H değerleri

Sıra No	B (T)	H (A/m)	Sıra No	B (T)	H (A/m)	Sıra No	B (T)	H (A/m)	Sıra No	B (T)	H (A/m)
1	0	0	17	1,216876	19,78892	33	1,485001	51,45119	49	1,660314	94,19525
2	0,474375	1,319261	18	1,237501	22,42744	34	1,485001	52,77045	50	1,670627	97,09763
3	0,886876	2,638522	19	1,278751	25,72559	35	1,495314	54,08971	51	1,670627	98,28496
4	0,948751	3,324538	20	1,278751	26,38522	36	1,505627	55,40897	52	1,670627	98,94459
5	0,990001	3,957784	21	1,299376	27,70449	37	1,515939	57,38786	53	1,680939	103,9578
6	1,010626	4,617414	22	1,340626	32,98153	38	1,526252	59,36675	54	1,691252	105,5409
7	1,051876	6,200528	23	1,350939	34,30079	39	1,526252	60,68602	55	1,691252	107,5198
8	1,051876	6,596306	24	1,361251	35,62005	40	1,536564	62,66491	56	1,701564	110,8179
9	1,062189	7,124011	25	1,392189	39,57784	41	1,557189	65,96306	57	1,711877	117,0185
10	1,072501	7,915567	26	1,402501	40,8971	42	1,577814	68,60158	58	1,711877	117,4142
11	1,093126	8,970976	27	1,412814	42,21636	43	1,588127	71,24011	59	1,711877	117,942
12	1,113751	10,68602	28	1,423126	43,53562	44	1,608752	75,85752	60	1,711877	118,4697
13	1,124064	11,47757	29	1,433439	44,85488	45	1,619064	79,15567	61	1,711877	119,5251
14	1,134376	11,87335	30	1,443751	46,83377	46	1,629377	83,11346	62	1,711877	120,8443
15	1,134376	12,53298	31	1,464376	48,81266	47	1,639689	87,07124	63	1,711877	122,2955
16	1,175626	17,1504	32	1,474689	50,13193	48	1,650002	90,10554	64	1,711877	127,9683



Şekil 4.2. Transformatör yapımında kullanılacak olan transformatör sacının deneysel olarak belirlenen mıknatıslama eğrisi

Şekil 4.3'te deney transformatörünün boyutlandırılması ve ölçü bobinlerinin konumlandırılması görülmektedir.



Şekil 4.3 Deney transformatörünün boyutlandırılmış ve ölçü bobinleri konumlandırılmış perspektif görüntüsü.

Transformatörlerde magnetik nüvenin a , b ve c değerleri, transformatörün kullanım amacına göre değişir. Deney transformatörümüzde bacaklardaki kaçak akı dağılımlarını ölçebilmek için bacak aralığı $c = 274$ mm olarak düşünülmüştür. Bacak biçimleri ise genellikle kare veya dikdörtgen şeklinde yapılmaktadır.

$$A_n = a \cdot b \quad (4.1)$$

Nüvenin b kenarı birer yüzeyleri yalıtkanla kaplı saçların üst üste dizilmesiyle oluşturulduğundan. b değerine %10 civarında yalıtkan payı eklemek gerekir.

Deney transformatöründe $C_p = 240$ mm, $B = 0,98$ T, $f = 50$ Hz, $U_1 = 220$ V, $U_2 = 57,74$ V, $\eta = \%98$, $S_2 = 2916$ VA alınmıştır.

Hesaplama;

S_1 : Transformator giriş (primer) gücü (VA)

S_2 : Transformator çıkış (sekonder) gücü (VA)

U_1 : Primer gerilimi (V)

U_2 : Sekonder gerilimi (V)

B : Magnetik akı yoğunluğu (T)

f_1 : Primer sargıya uygulanan gerilimin frekansı (Hz)

η : Verim

A_n : Magnetik nüve kesiti (m^2)

N_1 : Primer sargı sarım sayısı

N_2 : Sekonder sargı sarım sayısı

A_1 : Primer sargı iletken kesiti (mm^2)

A_2 : Sekonder sargı iletken kesiti (mm^2)

d_1 : Primer sargı iletken çapı (mm)

d_2 : Sekonder sargı iletken çapı (mm)

Φ : Magnetik akı (Wb)

e : Gerilim düşümü (V)

J : Akım yoğunluğu (İletkenin birim kesitinden geçen akım miktarı) (A/mm^2)

H : Magnetik alan şiddeti (A/m)

l : Demir nüvenin ortalama magnetik uzunluğu (m)

I_1 : Primer sargı akımı (A)

I_2 : Sekonder sargı akımı (A)

Magnetik nüve kesiti;

$$A_n = C \cdot \sqrt{S_2}$$
$$A_n = 1 \cdot \sqrt{2916} = 54 cm^2 = 5,4 \cdot 10^{-3} m^2$$

$a = 60$ mm kabul edilirse eşitlik (4.1) den $b = 90$ mm bulunur. Primer ve sekonder sargılarının sarım sayıları:

$$\phi = B \cdot A_n \quad (4.2)$$

$$\phi = 0,98 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3}$$

$$\phi = 5,2920 \cdot 10^{-3} Wb$$

$$N_1 \cong \frac{U_1}{4,44 \cdot \phi \cdot f_1} \quad (4.3)$$

eşitliğinden primer sargı sarım sayısı

$$N_1 = \frac{220}{4,44 \cdot 5,2920 \cdot 10^{-3} \cdot 50}$$

$$N_1 = 187 \text{ sarım}$$

Transformatörlerde sekonder sargı geriliminde $e = \%5$ 'lik bir gerilim düşümü kabul edilerek U_2 gerilim değeri

$$U_2 = U_{20} + (U_{20} \cdot e)$$

şeklinde hesaplanır.

$$U_2 = 57,74 + (57,74 \cdot 0,05)$$

$$U_2 = 60,63 \text{ V}$$

$$N_2 = \frac{U_2}{4,44 \cdot \phi \cdot f_1} \quad (4.4)$$

eşitliğinden sekonder sargı sarım sayısı,

$$N_2 = \frac{60,63}{4,44 \cdot 5,2920 \cdot 10^{-3} \cdot 50}$$

$$N_2 = 52 \text{ sarım}$$

Primer gücü;

$$S_1 = \frac{S_2}{\eta} \quad (4.5)$$

$$S_1 = \frac{2916}{0,98} = 2975 \text{ VA}$$

Primer sargı akımı;

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} \quad (4.6)$$

$$I_1 = \frac{2975}{220} = 13,52 \text{ A}$$

Sekonder sargı akımı;

$$I_2 = \frac{S_2}{U'_2} \quad (4.7)$$

$$I_2 = \frac{2916}{60,63} = 48,09 \text{ A}$$

Primer ve sekonder sargıların kesitleri:

(J değeri 4,58 A/mm² olarak alınmıştır)

$$A_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{13,52}{4,58} = 2,95 \text{ mm}^2, \quad A_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{48,09}{4,58} = 10,50 \text{ mm}^2$$

Primer ve sekonder sargıların çapları (izolasyonsuz);

$$d_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,95}{3,1415}} = 1,93 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,50}{3,1415}} = 3,65 \text{ mm}$$

Hesaplanan iletken çapları, üzerinden akım geçen çıplak bakır içindir. Bu değerlere iletkenlerin üzerindeki yalıtkan kalınlığı eklendiğinde primer sargı için yalıtkan kalınlığı 0,93 mm olması durumunda izolasyonlu iletken çapı $d_1' = 2,86 \text{ mm}$ olur. Sekonder sargı için yalıtkan kalınlığı 0,77 mm olması durumunda izolasyonlu iletken çapı $d_2' = 4,42 \text{ mm}$ olur. Pencere yüksekliği h ise a değerinin 2,5 ile 3,5 katı kadar alınır.

Makaranın içten içe yüksekliği (h_1); makara yapımında kullanılan presbant kalınlığı ve makaranın yan kapağı ile nüve arasındaki hava aralığı da dikkate alınarak h_1 değeri hesaplanır. Örneğin hava aralığı ve presbant kalınlığı ayrı ayrı 2,75 mm alınırsa,

$$h_1 = h - 2(2,75 + 2,75)$$

olur.

$$h = 2,93 \cdot a = 2,93 \cdot 60 = 176 \text{ mm}$$

$$h_1 = h - 2(2,75 + 2,75) = 176 - 2(2,75 + 2,75) = 165 \text{ mm}$$

Bir kattaki primer ve sekonder sargıların sarım sayısı; $\frac{h_1}{d_1'}$ ve $\frac{h_2}{d_2'}$ 'dır

$$\text{Bir kattaki primer sargı sarım sayısı} = \frac{h_1}{d_1'} = \frac{165}{2,86} \cong 58$$

$$\text{Bir kattaki sekonder sargı sarım sayısı} = \frac{h_2}{d_2'} = \frac{165}{4,42} \cong 38$$

$$\text{Primer sargı kat sayısı; } \frac{N_1 \cdot d_1'}{h_1} = \frac{187 \cdot 2,86}{165} = 3,24 \approx 4 \quad h_1 = h_2 \text{ alınırsa,}$$

$$\text{Sekonder sargı kat sayısı; } \frac{N_2 \cdot d_2'}{h_2} = \frac{52 \cdot 4,42}{165} = 1,39 \approx 2$$

olur.

Primer Sargı Kalınlığı:

Katlar arasına 0,10 mm kalınlığında ve sargının üstüne de 0,20 mm kalınlığında presbant konulur. 4 kat arasına 3 presbant konulacağından sargı kalınlığı $4 \cdot 2,86 + 3 \cdot 0,1 + 0,2 = 11,95 \text{ mm}$ olup bu değer kabarma payı ile 13 mm alınır.

Sekonder Sargı Kalınlığı:

Katlar arasına 0,10 mm kalınlığında, sargının üstüne de 0,20 mm kalınlığında presbant konulduğunda ve 2 kat arasınada bir presbant konulacağından sargı kalınlığı $2 \cdot 4,42 + 0,1 + 0,2 \cong 9,15 \text{ mm}$ olup kabarma payıda düşünöldüğünde bu değeri 10 mm olur.

Pencere Genişliğı

Pencere Genişliğı = Makara ile nüve arasındaki hava boşluğu + primer sargı makara kalınlığı + primer sargı kalınlığı + iki sargı arasındaki boşluk + sekonder sargı kalınlığı + sekonder sargı makara kalınlığı + makara ile nüve arasındaki hava boşluğu + primer ve sekonder sargı makara kenarları arasındaki boşluk şeklinde bulunur.

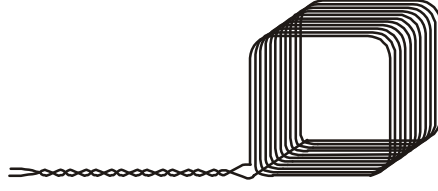
Buna göre;

$$C_p = 1 + 1 + 13 + 6 + 10 + 1 + 1 + 1 = 34 \text{ mm}$$

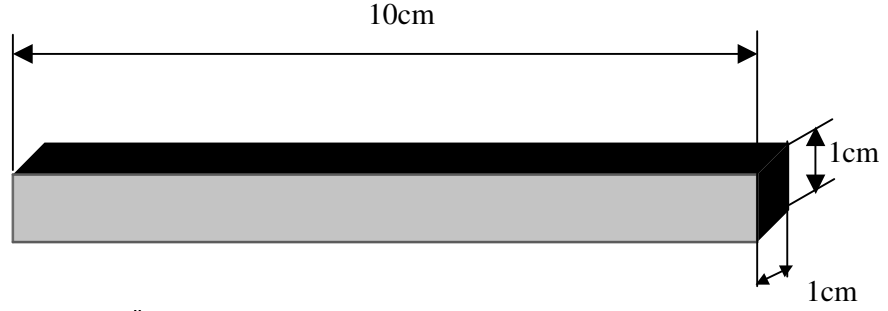
olur. Çalışmada kullanılacak deney transformatöründe kaçak akıları rahat ölçebilmek için pencere genişliğı $C_p = 274 \text{ mm}$ alınmıştır. Böylece ölçüm esnasında rahat ölçüm yapılabilmesi için primer ve sekonder bacakları arasındaki kullanılabilir çalışma alanı 240 mm'dir.

IV.2. Ölçü Bobinlerinin Tasarımı

Alternatif bir alan içinde bulunan bobinde gerilim indüklenmesi bobin içinden geçen kuvvet hatlarının sayısı ve bobinin sarım sayısı ile orantılı olduğundan kaçak akıların ölçülmesi için kullanılacak olan ölçü bobinlerinin sarım sayısı, deneme ölçümleri yapılarak bulunmuştur. Sarılacak olan bobinin biçimi bobinler karton üzerine yapıştırıldığında aralarında boşluk kalmayacak biçimde olmalıdır ki, magnetik alan çizgilerinin hemen hemen tamamı bobin sargılarını kesebilmelidir. Bundan dolayı ölçü bobinleri Şekil 4.4'de göröldüğü gibi kare şeklinde hazırlanmıştır. Ayrıca ölçü bobinlerinin bağlantı iletkenlerinde gerilim indüklenmemesi için her bir bobinin bağlantı iletkenleri Şekil 4.4'de göröldüğü gibi saç örgüsü şeklinde sarılmıştır. Ölçü bobinlerinin kare biçiminde sarılması şekil 4.5'de görölen ağaç kalıp sayesinde gerçekleştirilmiştir.

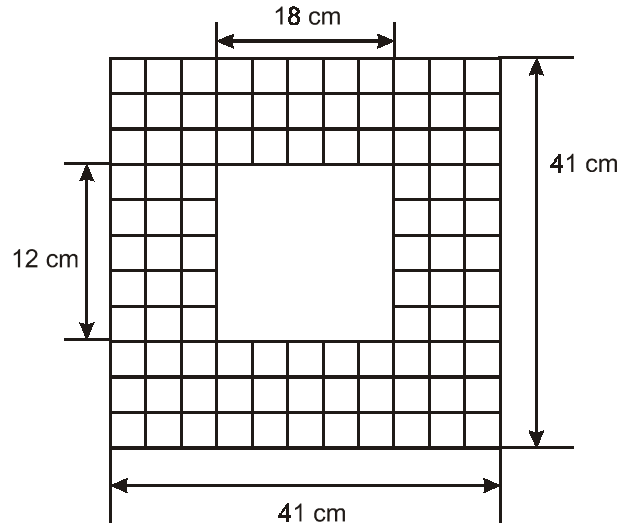


Şekil 4.4. Kare biçiminde hazırlanmış ölçü bobini



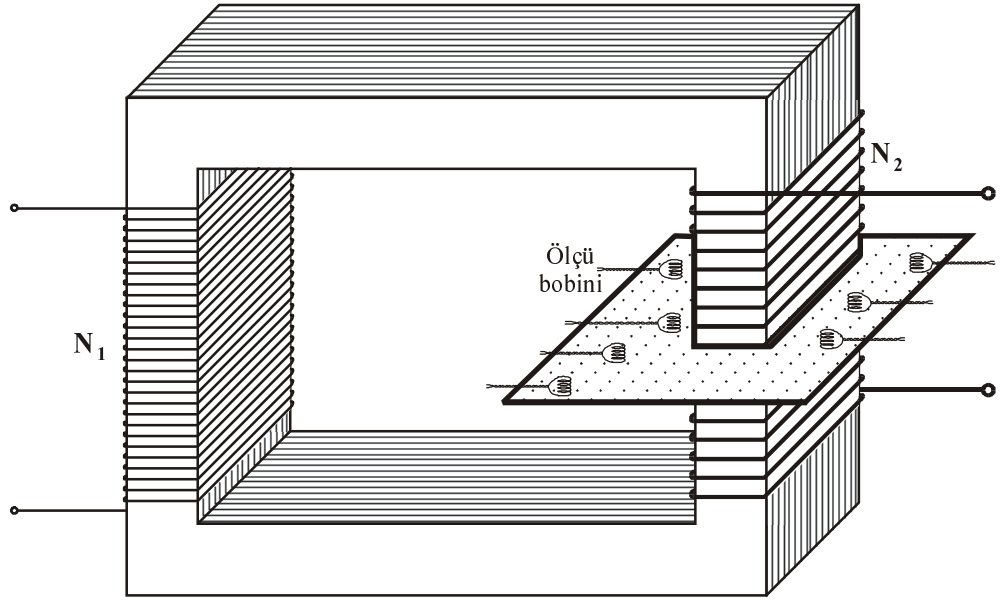
Şekil 4.5. Ölçü bobinlerinin kolay sarılması için hazırlanmış ağaç kalıp

Ölçü bobinleri Şekil 4.6’da görüldüğü gibi üzerine 1cm x 1cm’lik kareler çizilmiş 41cm x 41cm boyutlarındaki 2 mm kalınlığında bir karton üzerine tam karelerin üstüne gelecek şekilde yapıştırılarak monte edilmiştir.



Şekil 4.6. Ölçü bobinlerinin monte edildiği kartonun şekli.

Üzerine ölçü bobinleri yerleştirilmiş kartonun bir transformatör bacağı üzerindeki konumu Şekil 4.7’ de görülmektedir. Karton bacak üzerine karton altına konumlandırılan dört adet ayarlanabilir destekler kullanılarak tuturulmuş ve bu ayarlanabilir destekler ile kartonun bacak üzerinde istenilen yükseklikte sabit kalması gerçekleştirmiştir. Kartonun tam yatay durduğundan emin olmak için bir su terazisi kullanılmıştır.



Şekil 4.7 Üzerine ölçü bobinleri yerleştirilmiş kartonun transformatör bacağı üzerindeki konumu.

BÖLÜM V

V.1. DENEYİN YAPILIŞI

Deney için gerçekleştirilen bağlantı şeması Şekil 5.1'de görülmektedir. Primer sargılarına uygulanan gerilimin 220 V, 50 Hz'de sabit kalması için gerilim regülatörü kullanılmış ve gerekli enerji üç fazlı bir senkron generatörden sağlanmıştır. Gerilim ve frekans değerleri dijital Voltmetre ve dijital frekansmetreden, akım değerleri sekonder ve primer sargılarına ayrı ayrı bağlanan dijital Ampermetreden okunmuştur. Ölçüler sekonder bacak üzerinde yapılmış olup bacak köşesinden itibaren 5,5 cm; 6,5 cm; 7,5 cm; 8,5 cm; 9,5 cm; 10,5 cm; 11,5 cm; 12,5 cm olmak üzere sekiz ayrı yükseklikteki ve 2,1 A ile 4,1 A olmak üzere iki ayrı Primer akım değerleri için yüzey potansiyel değerleri ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları da

2,1 A için Tablo [(5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9)]'da ve

4,1 A için de Tablo [(5.10), (5.11), (5.12), (5.13), (5.14), (5.15), (5.16), (5.17)]'de verilmiştir.

Ölçümlerde kullanılan ölçü bobinlerinin numaralandırılmış konumları ve hesaplamalarda kullanılan sınır değer ölçü bobinlerinin x-y koordinatlarındaki konumları Tablo 5.1'de görülmektedir.

Tablo 5.1 Ölçü bobinlerinin numaralandırılmış konumları ve sınır değer ölçü bobinlerinin x-y koordinatlarındaki konumları

V1642	V1641	V1640	V1639	V1638	V1637	V1636	V1635	V1634	V1633	V1632	V1631	V1630	V1629	V1628	V1627	V1626	V1625	V1624	V1623	V1622	V1621	V1620	V1619	V1618	V1617	V1616	V1615	V1614	V1613	V1612	V1611	V1610	V1609	V1608	V1607	V1606	V1605	V1604	V1603	V1602
V1643	V1483	V1484	V1485	V1486	V1487	V1488	V1489	V1490	V1491	V1492	V1493	V1494	V1495	V1496	V1497	V1498	V1499	V1500	V1501	V1502	V1503	V1504	V1505	V1506	V1507	V1508	V1509	V1510	V1511	V1512	V1513	V1514	V1515	V1516	V1517	V1518	V1519	V1520	V1521	V1601
V1644	V1444	V1445	V1446	V1447	V1448	V1449	V1450	V1451	V1452	V1453	V1454	V1455	V1456	V1457	V1458	V1459	V1460	V1461	V1462	V1463	V1464	V1465	V1466	V1467	V1468	V1469	V1470	V1471	V1472	V1473	V1474	V1475	V1476	V1477	V1478	V1479	V1480	V1481	V1482	V1600
V1645	V1405	V1406	V1407	V1408	V1409	V1410	V1411	V1412	V1413	V1414	V1415	V1416	V1417	V1418	V1419	V1420	V1421	V1422	V1423	V1424	V1425	V1426	V1427	V1428	V1429	V1430	V1431	V1432	V1433	V1434	V1435	V1436	V1437	V1438	V1439	V1440	V1441	V1442	V1443	V1599
V1646	V1366	V1367	V1368	V1369	V1370	V1371	V1372	V1373	V1374	V1375	V1376	V1377	V1378	V1379	V1380	V1381	V1382	V1383	V1384	V1385	V1386	V1387	V1388	V1389	V1390	V1391	V1392	V1393	V1394	V1395	V1396	V1397	V1398	V1399	V1400	V1401	V1402	V1403	V1404	V1598
V1647	V1327	V1328	V1329	V1330	V1331	V1332	V1333	V1334	V1335	V1336	V1337	V1338	V1339	V1340	V1341	V1342	V1343	V1344	V1345	V1346	V1347	V1348	V1349	V1350	V1351	V1352	V1353	V1354	V1355	V1356	V1357	V1358	V1359	V1360	V1361	V1362	V1363	V1364	V1365	V1597
V1648	V1288	V1289	V1290	V1291	V1292	V1293	V1294	V1295	V1296	V1297	V1298	V1299	V1300	V1301	V1302	V1303	V1304	V1305	V1306	V1307	V1308	V1309	V1310	V1311	V1312	V1313	V1314	V1315	V1316	V1317	V1318	V1319	V1320	V1321	V1322	V1323	V1324	V1325	V1326	V1596
V1649	V1249	V1250	V1251	V1252	V1253	V1254	V1255	V1256	V1257	V1258	V1259	V1260	V1261	V1262	V1263	V1264	V1265	V1266	V1267	V1268	V1269	V1270	V1271	V1272	V1273	V1274	V1275	V1276	V1277	V1278	V1279	V1280	V1281	V1282	V1283	V1284	V1285	V1286	V1287	V1595
V1650	V1210	V1211	V1212	V1213	V1214	V1215	V1216	V1217	V1218	V1219	V1220	V1221	V1222	V1223	V1224	V1225	V1226	V1227	V1228	V1229	V1230	V1231	V1232	V1233	V1234	V1235	V1236	V1237	V1238	V1239	V1240	V1241	V1242	V1243	V1244	V1245	V1246	V1247	V1248	V1594
V1651	V1171	V1172	V1173	V1174	V1175	V1176	V1177	V1178	V1179	V1180	V1181	V1182	V1183	V1184	V1185	V1186	V1187	V1188	V1189	V1190	V1191	V1192	V1193	V1194	V1195	V1196	V1197	V1198	V1199	V1200	V1201	V1202	V1203	V1204	V1205	V1206	V1207	V1208	V1209	V1593
V1652	V1132	V1133	V1134	V1135	V1136	V1137	V1138	V1139	V1140	V1141	V1142	V1143	V1144	V1145	V1146	V1147	V1148	V1149	V1150	V1151	V1152	V1153	V1154	V1155	V1156	V1157	V1158	V1159	V1160	V1161	V1162	V1163	V1164	V1165	V1166	V1167	V1168	V1169	V1170	V1592
V1653	V1093	V1094	V1095	V1096	V1097	V1098	V1099	V1100	V1101	V1102	V1103	V1104	V1105	V1106	V1107	V1108	V1109	V1110	V1111	V1112	V1113	V1114	V1115	V1116	V1117	V1118	V1119	V1120	V1121	V1122	V1123	V1124	V1125	V1126	V1127	V1128	V1129	V1130	V1131	V1591
V1654	V1054	V1055	V1056	V1057	V1058	V1059	V1060	V1061	V1062	V1063	V1064	V1065	V1066	V1067	V1068	V1069	V1070	V1071	V1072	V1073	V1074	V1075	V1076	V1077	V1078	V1079	V1080	V1081	V1082	V1083	V1084	V1085	V1086	V1087	V1088	V1089	V1090	V1091	V1092	V1590
V1655	V1015	V1016	V1017	V1018	V1019	V1020	V1021	V1022	V1023	V1024	V1025	V1026	V1027	V1028	V1029	V1030	V1031	V1032	V1033	V1034	V1035	V1036	V1037	V1038	V1039	V1040	V1041	V1042	V1043	V1044	V1045	V1046	V1047	V1048	V1049	V1050	V1051	V1052	V1053	V1589
V1656	V976	V977	V978	V979	V980	V981	V982	V983	V984	V985	V986	V987	V988	V989	V990	V991	V992	V993	V994	V995	V996	V997	V998	V999	V1000	V1001	V1002	V1003	V1004	V1005	V1006	V1007	V1008	V1009	V1010	V1011	V1012	V1013	V1014	V1588
V1657	V937	V938	V939	V940	V941	V942	V943	V944	V945	V946	V947	V948	V949	V950	V951	V952	V953	V954	V955	V956	V957	V958	V959	V960	V961	V962	V963	V964	V965	V966	V967	V968	V969	V970	V971	V972	V973	V974	V975	V1587
V1658	V898	V899	V900	V901	V902	V903	V904	V905	V906	V907	V908	V909	V910	V911	V912	V913	V914	V915	V916	V917	V918	V919	V920	V921	V922	V923	V924	V925	V926	V927	V928	V929	V930	V931	V932	V933	V934	V935	V936	V1586
V1659	V859	V860	V861	V862	V863	V864	V865	V866	V867	V868																			V887	V888	V889	V890	V891	V892	V893	V894	V895	V896	V897	V1585
V1660	V820	V821	V822	V823	V824	V825	V826	V827	V828	V829																			V848	V849	V850	V851	V852	V853	V854	V855	V856	V857	V858	V1584
V1661	V781	V782	V783	V784	V785	V786	V787	V788	V789	V790																			V809	V810	V811	V812	V813	V814	V815	V816	V817	V818	V819	V1583
V1662	V742	V743	V744	V745	V746	V747	V748	V749	V750	V751																			V770	V771	V772	V773	V774	V775	V776	V777	V778	V779	V780	V1582
V1663	V703	V704	V705	V706	V707	V708	V709	V710	V711	V712																			V731	V732	V733	V734	V735	V736	V737	V738	V739	V740	V741	V1581
V1664	V664	V665	V666	V667	V668	V669	V670	V671	V672	V673																			V692	V693	V694	V695	V696	V697	V698	V699	V700	V701	V702	V1580
V1665	V625	V626	V627	V628	V629	V630	V631	V632	V633	V634																			V653	V654	V655	V656	V657	V658	V659	V660	V661	V662	V663	V1579
V1666	V586	V587	V588	V589	V590	V591	V592	V593	V594	V595																			V614	V615	V616	V617	V618	V619	V620	V621	V622	V623	V624	V1578
V1667	V547	V548	V549	V550	V551	V552	V553	V554	V555	V556																			V575	V576	V577	V578	V579	V580	V581	V582	V583	V584	V585	V1577
V1668	V508	V509	V510	V511	V512	V513	V514	V515	V516	V517																			V536	V537	V538	V539	V540	V541	V542	V543	V544	V545	V546	V1576
V1669	V469	V470	V471	V472	V473	V474	V475	V476	V477	V478																			V497	V498	V499	V500	V501	V502	V503	V504	V505	V506	V507	V1575
V1670	V430	V431	V432	V433	V434	V435	V436	V437	V438	V439																			V458	V459	V460	V461	V462	V463	V464	V465	V466	V467	V468	V1574
V1671	V391	V392	V393	V394	V395	V396	V397	V398	V399	V400	V401	V402	V403	V404	V405	V406	V407	V408	V409	V410	V411	V412	V413	V414	V415	V416	V417	V418	V419	V420	V421	V422	V423	V424	V425	V426	V427	V428	V429	V1573
V1672	V352	V353	V354	V355	V356	V357	V358	V359	V360	V361	V362	V363	V364	V365	V366	V367	V368	V369	V370	V371	V372	V373	V374	V375	V376	V377	V378	V379	V380	V381	V382	V383	V384	V385	V386	V387	V388	V389	V390	V1572
V1673	V313	V314	V315	V316	V317	V318	V319	V320	V321	V322	V323	V324	V325	V326	V327	V328	V329	V330	V331	V332	V333	V334	V335	V336	V337	V338	V339	V340	V341	V342	V343	V344	V345	V346	V347	V348	V349	V350	V351	V1571
V1674	V274	V275	V276	V277	V278	V279	V280	V281	V282	V283	V284	V285	V286	V287	V288	V289	V290	V291	V292	V293	V294	V295	V296	V297	V298	V299	V300	V301	V302	V303	V304	V305	V306	V307	V308	V309	V310	V311	V312	V1570
V1675	V235	V236	V237	V238	V239	V240	V241	V242	V243	V244	V245	V246	V247	V248	V249	V250	V251	V252	V253	V254	V255	V256	V257	V258	V259	V260	V261	V262	V263	V264	V265	V266	V267	V268	V269	V270	V271	V272	V273	V1569
V1676	V196	V197	V198	V199	V200	V201	V202	V203	V204	V205	V206	V207	V208	V209	V210	V211	V212	V213	V214	V215	V216	V217	V218	V219	V220	V221	V222	V223	V224	V225	V226	V227	V228	V229	V230	V231	V232	V233	V234	V1568
V1677	V157	V158	V159	V160	V161	V162	V163	V164	V165	V166	V167	V168	V169	V170	V171	V172	V173	V174	V175	V176	V177	V178	V179	V180	V181	V182	V183	V184	V185	V186	V187	V188	V189	V190	V191	V192	V193	V194	V195	V1567
V1678	V118	V119	V120	V121	V122	V123	V124	V125	V126	V127	V128	V129	V130	V131	V132	V133	V134	V135	V136	V137	V138	V139	V140	V141	V142	V143	V144	V145	V146	V147	V148	V149	V150	V151	V152	V153	V154	V155	V156	V1566
V1679	V79	V80	V81	V82	V83	V84	V85	V86	V87	V88	V89	V90	V91	V92	V93	V94	V95	V96	V97	V98	V99	V100	V101	V102	V103	V104														

Tablo 5.2 2.l A için bacadan 5.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,19	0,22	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,33	0,35	0,36	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,32	0,25	0,24	0,20	0,19	0,17	0,17	0,15	0,15	0,14	0,12	0,12	
0,14	0,15	0,17	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,21	0,23	0,26	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,36	0,34	0,26	0,25	0,23	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15	0,15	0,12
0,15	0,16	0,18	0,18	0,19	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,29	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,44	0,43	0,42	0,40	0,38	0,39	0,27	0,26	0,25	0,23	0,23	0,21	0,21	0,21	0,20	0,18	0,16
0,16	0,16	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,26	0,28	0,34	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,44	0,43	0,41	0,41	0,28	0,27	0,26	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,19	0,16
0,17	0,17	0,21	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,28	0,32	0,35	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,47	0,45	0,43	0,44	0,32	0,28	0,28	0,26	0,27	0,26	0,24	0,24	0,22	0,20	0,17
0,18	0,18	0,23	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30	0,30	0,33	0,36	0,35	0,38	0,42	0,44	0,47	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,53	0,52	0,50	0,48	0,46	0,46	0,35	0,30	0,29	0,32	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,20	0,18
0,19	0,18	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,31	0,33	0,35	0,39	0,38	0,42	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,55	0,53	0,51	0,49	0,48	0,40	0,32	0,30	0,33	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,24	0,20
0,20	0,20	0,26	0,27	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,37	0,41	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,56	0,57	0,59	0,60	0,60	0,61	0,60	0,60	0,59	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,43	0,34	0,33	0,32	0,30	0,30	0,30	0,30	0,28	0,26	0,25
0,20	0,21	0,27	0,28	0,32	0,32	0,33	0,35	0,36	0,40	0,44	0,45	0,49	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,59	0,57	0,55	0,52	0,49	0,40	0,34	0,35	0,32	0,32	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26
0,22	0,21	0,28	0,29	0,33	0,33	0,35	0,35	0,38	0,42	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,58	0,55	0,50	0,45	0,44	0,42	0,33	0,33	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27
0,23	0,21	0,29	0,31	0,36	0,39	0,36	0,37	0,39	0,43	0,51	0,52	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,64	0,62	0,57	0,51	0,49	0,49	0,45	0,36	0,35	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28
0,24	0,23	0,30	0,32	0,38	0,40	0,38	0,38	0,41	0,46	0,53	0,56	0,60	0,63	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,71	0,70	0,68	0,65	0,60	0,56	0,54	0,51	0,45	0,38	0,36	0,32	0,32	0,30	0,30	0,30
0,25	0,24	0,31	0,32	0,39	0,42	0,40	0,40	0,44	0,48	0,57	0,60	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,78	0,77	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,64	0,60	0,58	0,57	0,47	0,40	0,36	0,34	0,32	0,30	0,31	0,30
0,27	0,25	0,33	0,33	0,40	0,43	0,43	0,41	0,46	0,51	0,61	0,65	0,68	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,73	0,67	0,62	0,61	0,60	0,52	0,42	0,38	0,35	0,32	0,31	0,31	0,30
0,30	0,26	0,36	0,34	0,42	0,45	0,46	0,43	0,48	0,53	0,64	0,69	0,72	0,75	0,77	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,81	0,79	0,77	0,69	0,68	0,67	0,63	0,54	0,44	0,40	0,40	0,32	0,31	0,32	0,30	
0,30	0,27	0,36	0,36	0,43	0,46	0,48	0,45	0,50	0,56	0,68	0,73	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81	0,78	0,75	0,70	0,68	0,56	0,45	0,43	0,43	0,33	0,34	0,32	0,30	
0,32	0,29	0,39	0,38	0,46	0,49	0,52	0,46	0,52	0,58	0,70	0,78	0,81	0,83	0,86	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85	0,82	0,77	0,74	0,70	0,59	0,45	0,43	0,43	0,34	0,32	0,33	0,30
0,21	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62																														
0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63																														
0,23	0,27	0,31	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64																														
0,23	0,28	0,32	0,36	0,40	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,66																														
0,24	0,28	0,32	0,36	0,41	0,45	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67																														
0,23	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,59	0,64	0,68																														
0,23	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,55	0,60	0,65	0,70																														
0,23	0,27	0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71																														
0,22	0,27	0,32	0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,68	0,73																														
0,21	0,26	0,31	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,63	0,69	0,75																														
0,20	0,25	0,30	0,36	0,41	0,47	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76																														
0,18	0,24	0,29	0,35	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,78																														
0,44	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,74	0,78	0,83	0,87	0,91	0,97	0,99	1,00	1,02	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,12	1,10	1,08	1,05	1,02	1,00	0,99	0,97	1,01	0,93	0,86	0,80	0,74	0,68	0,62	0,57	0,53	0,49	0,45	0,42
0,45	0,50	0,56	0,61	0,66	0,71	0,75	0,80	0,84	0,88	0,92	0,93	0,97	1,00	1,02	1,05	1,08	1,10	1,12	1,12	1,12	1,12	1,10	1,08	1,05	1,02	0,99	0,96	0,93	1,02	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,64	0,59	0,55	0,50	0,47	0,43
0,46	0,51	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,81	0,85	0,89	0,93	0,89	0,94	0,98	1,02	1,04	1,07	1,09	1,11	1,12	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,98	0,94	0,89	1,02	0,95	0,89	0,83	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52	0,48	0,44
0,46	0,52	0,58	0,63	0,68	0,73	0,78	0,82	0,86	0,90	0,94	0,86	0,92	0,97	1,01	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,11	1,10	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97	0,91	0,85	1,02	0,96	0,90	0,84	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53	0,49	0,45
0,47	0,53	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	0,82	0,89	0,95	1,00	1,03	1,06	1,07	1,09	1,10	1,10	1,09	1,08	1,06	1,03	1,00	0,95	0,89	0,82	1,02	0,97	0,91	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46
0,48	0,54	0,60	0,65	0,71	0,75	0,80	0,84	0,88	0,92	0,95	0,79	0,86	0,93	0,98	1,03	1,04	1,07	1,08	1,09	1,09	1,08	1,07	1,05	1,03	0,98	0,93	0,87	0,79	1,02	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,51	0,46
0,49	0,55	0,61	0,67	0,72	0,77	0,81	0,85	0,89	0,93	0,96	0,76	0,84	0,90	0,96	1,01	1,04	1,04	1,06	1,07	1,07	1,07	1,05	1,04	1,01	0,97	0,91	0,84	0,77	1,02	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68	0,63	0,58	0,52	0,47
0,49	0,56	0,62	0,68	0,73	0,78	0,82	0,86	0,90	0,93	0,96	0,73	0,81	0,87	0,93	0,98	1,02	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	0,99	0,94	0,89	0,82	0,75	1,02	0,98	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59	0,54	0,48
0,50	0,57	0,63	0,69	0,74	0,79	0,83	0,87	0,91	0,94	0,97	0,71	0,78	0,84	0,90	0,94	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,03	1,01	0,99	0,95	0,91	0,86	0,80	0,73	1,02	0,98										

Tablo 5.3 2,1 A için bacadan 6.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri..

0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,25	0,26	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,38	0,40	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,34	0,28	0,26	0,28	0,28	0,24	0,21	0,19	0,16	0,13
0,15	0,15	0,18	0,17	0,18	0,20	0,21	0,21	0,23	0,23	0,28	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,38	0,37	0,35	0,33	0,29	0,29	0,29	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14
0,16	0,16	0,20	0,19	0,20	0,21	0,23	0,23	0,24	0,25	0,33	0,32	0,35	0,37	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,31	0,33	0,30	0,28	0,25	0,22	0,19	0,16
0,16	0,17	0,21	0,20	0,22	0,24	0,24	0,27	0,28	0,31	0,37	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42	0,40	0,38	0,34	0,34	0,32	0,29	0,27	0,24	0,21	0,17
0,18	0,18	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29	0,29	0,34	0,39	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30	0,27	0,25	0,21	0,18	
0,18	0,18	0,24	0,25	0,26	0,28	0,29	0,31	0,31	0,36	0,40	0,41	0,44	0,47	0,50	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,56	0,55	0,53	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	0,19
0,19	0,19	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33	0,33	0,37	0,41	0,45	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,59	0,58	0,56	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,36	0,33	0,31	0,27	0,24	0,21
0,20	0,21	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,35	0,39	0,43	0,48	0,51	0,54	0,57	0,59	0,61	0,63	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,61	0,59	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,26	0,23
0,21	0,21	0,27	0,29	0,32	0,32	0,34	0,36	0,37	0,40	0,44	0,52	0,55	0,58	0,60	0,63	0,65	0,66	0,68	0,69	0,69	0,70	0,69	0,69	0,68	0,67	0,66	0,64	0,63	0,58	0,56	0,54	0,51	0,49	0,46	0,43	0,39	0,36	0,32	0,28	0,24
0,23	0,23	0,29	0,29	0,32	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,46	0,55	0,59	0,62	0,64	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,60	0,58	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,41	0,37	0,33	0,29	0,25
0,24	0,23	0,31	0,30	0,35	0,36	0,36	0,38	0,40	0,42	0,50	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,63	0,61	0,59	0,56	0,53	0,50	0,46	0,43	0,39	0,35	0,30	0,26
0,25	0,24	0,34	0,31	0,36	0,38	0,38	0,40	0,42	0,45	0,55	0,63	0,66	0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,78	0,77	0,75	0,72	0,67	0,64	0,62	0,59	0,56	0,53	0,49	0,45	0,41	0,37	0,32	0,27
0,27	0,26	0,35	0,33	0,37	0,40	0,39	0,41	0,43	0,48	0,59	0,67	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,78	0,76	0,70	0,67	0,65	0,61	0,58	0,55	0,51	0,47	0,42	0,38	0,33	0,27
0,29	0,28	0,37	0,33	0,38	0,41	0,40	0,44	0,46	0,50	0,63	0,71	0,74	0,77	0,80	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,71	0,69	0,66	0,63	0,59	0,55	0,51	0,47	0,43	0,38	0,33	0,27
0,32	0,30	0,39	0,36	0,40	0,43	0,41	0,45	0,48	0,53	0,66	0,75	0,78	0,81	0,84	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,83	0,78	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,55	0,50	0,45	0,39	0,34	0,27
0,32	0,32	0,40	0,37	0,41	0,45	0,45	0,47	0,50	0,56	0,69	0,79	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,89	0,86	0,80	0,76	0,73	0,69	0,65	0,61	0,56	0,51	0,46	0,40	0,34	0,28
0,33	0,34	0,42	0,39	0,45	0,47	0,51	0,50	0,52	0,57	0,77	0,83	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	1,01	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	0,99	0,98	0,95	0,93	0,90	0,83	0,80	0,74	0,70	0,66	0,61	0,57	0,51	0,46	0,40	0,37	0,28
0,29	0,33	0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,64	0,68																														
0,31	0,35	0,39	0,42	0,46	0,50	0,54	0,57	0,61	0,65	0,69																														
0,34	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70																														
0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71																														
0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73																														
0,37	0,39	0,42	0,45	0,48	0,52	0,56	0,60	0,65	0,69	0,75																														
0,37	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,57	0,61	0,66	0,71	0,77																														
0,36	0,39	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,62	0,67	0,73	0,79																														
0,35	0,38	0,41	0,45	0,49	0,53	0,58	0,63	0,69	0,75	0,81																														
0,33	0,37	0,40	0,44	0,49	0,54	0,59	0,64	0,70	0,77	0,84																														
0,31	0,35	0,39	0,44	0,49	0,54	0,60	0,66	0,72	0,79	0,86																														
0,28	0,33	0,38	0,43	0,48	0,54	0,61	0,67	0,74	0,82	0,90																														
0,56	0,59	0,63	0,66	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,96	1,03	1,35	1,37	1,38	1,38	1,38	1,38	1,37	1,35	1,34	1,31	1,29	1,26	1,22	1,19	1,14	1,10	1,05	1,01	0,96	0,92	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66	0,61	0,55	0,48	0,42	
0,58	0,61	0,65	0,68	0,73	0,77	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,28	1,30	1,32	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,31	1,30	1,28	1,26	1,23	1,20	1,16	1,12	1,08	1,03	1,01	0,97	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,67	0,62	0,56	0,50	0,43
0,61	0,64	0,67	0,71	0,75	0,79	0,84	0,89	0,94	1,00	1,05	1,22	1,24	1,26	1,27	1,28	1,29	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,17	1,14	1,11	1,10	1,05	1,01	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74	0,68	0,63	0,57	0,51	0,44	
0,63	0,66	0,69	0,73	0,77	0,81	0,86	0,91	0,96	1,01	1,07	1,16	1,19	1,21	1,22	1,24	1,24	1,25	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,17	1,14	1,11	1,08	1,03	0,99	1,02	0,98	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58	0,52	0,45
0,65	0,68	0,72	0,76	0,80	0,84	0,88	0,93	0,97	1,02	1,08	1,11	1,13	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,21	1,20	1,20	1,18	1,17	1,14	1,12	1,09	1,05	1,01	0,97	1,02	0,98	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,64	0,59	0,53	0,47
0,67	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99	1,04	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,17	1,17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	0,99	0,95	1,02	0,98	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71	0,65	0,60	0,54	0,48		
0,69	0,73	0,77	0,80	0,84	0,88	0,92	0,97	1,01	1,05	1,10	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97	0,93	1,02	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,77	0,72	0,66	0,61	0,55	0,49		
0,71	0,75	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	0,98	1,02	1,06	1,10	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97	0,93	1,02	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,77	0,72	0,66	0,61	0,55	0,49		
0,74	0,78	0,82	0,85	0,89	0,93	0,97	1,00	1,04	1,08	1,11	1,09	1,11	1,13	1,15	1,16	1,17	1,16	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,01	0,97	0,93	1,02	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,77	0,72	0,66	0,61				

Tablo 5.4 2.1 A için bacadan 7.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,15	0,16	0,17	0,17	0,19	0,19	0,20	0,21	0,24	0,25	0,30	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,40	0,49	0,48	0,47	0,46	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29
0,15	0,17	0,19	0,19	0,21	0,22	0,24	0,24	0,27	0,30	0,32	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,50	0,49	0,48	0,47	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,25	0,25	0,26	0,28	0,30	0,37	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,50	0,48	0,47	0,51	0,50	0,49	0,48	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,31
0,17	0,18	0,21	0,21	0,26	0,28	0,29	0,30	0,33	0,37	0,42	0,37	0,40	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,53	0,52	0,51	0,50	0,42	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33
0,19	0,19	0,23	0,25	0,27	0,29	0,30	0,34	0,34	0,39	0,44	0,41	0,44	0,47	0,49	0,52	0,54	0,55	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,55	0,53	0,55	0,51	0,51	0,51	0,45	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34
0,20	0,19	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,34	0,36	0,40	0,45	0,44	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,58	0,55	0,54	0,53	0,46	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36
0,20	0,20	0,25	0,26	0,30	0,31	0,33	0,35	0,36	0,40	0,45	0,47	0,51	0,54	0,56	0,59	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,63	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,54	0,47	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,38
0,20	0,22	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,38	0,42	0,46	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,63	0,64	0,60	0,59	0,58	0,57	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40
0,25	0,23	0,27	0,30	0,31	0,33	0,34	0,35	0,40	0,43	0,47	0,54	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,70	0,72	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,72	0,70	0,69	0,66	0,67	0,65	0,64	0,63	0,60	0,55	0,54	0,53	0,52	0,49	0,45	0,44
0,26	0,25	0,31	0,31	0,34	0,34	0,36	0,36	0,41	0,44	0,48	0,58	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	0,64	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50
0,27	0,25	0,36	0,31	0,35	0,36	0,38	0,40	0,43	0,45	0,53	0,62	0,65	0,69	0,72	0,74	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,73	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51
0,28	0,27	0,38	0,32	0,36	0,39	0,40	0,42	0,44	0,47	0,59	0,66	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81	0,79	0,76	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53
0,29	0,30	0,39	0,35	0,38	0,41	0,41	0,45	0,50	0,52	0,62	0,70	0,73	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,61	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55
0,33	0,34	0,40	0,37	0,39	0,42	0,42	0,48	0,50	0,56	0,70	0,74	0,78	0,81	0,84	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,85	0,82	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59
0,34	0,35	0,42	0,39	0,40	0,44	0,43	0,50	0,52	0,58	0,70	0,78	0,82	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,94	0,91	0,89	0,86	0,78	0,76	0,75	0,74	0,72	0,70	0,69	0,65	0,63	0,62	0,61	0,60
0,34	0,36	0,43	0,40	0,43	0,47	0,51	0,51	0,55	0,60	0,76	0,82	0,86	0,90	0,93	0,96	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,85	0,80	0,76	0,75	0,74	0,72	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64
0,35	0,37	0,45	0,42	0,47	0,49	0,54	0,59	0,60	0,60	0,83	0,86	0,91	0,94	0,97	1,00	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,06	1,06	1,05	1,03	1,01	0,98	0,95	0,92	0,93	0,90	0,80	0,79	0,76	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,64	0,63
0,33	0,38	0,42	0,47	0,51	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,72																														
0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,59	0,63	0,67	0,70	0,74																														
0,38	0,42	0,45	0,49	0,53	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76																														
0,40	0,43	0,46	0,50	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,78																														
0,41	0,44	0,47	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,75	0,80																														
0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,62	0,67	0,71	0,76	0,82																														
0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78	0,84																														
0,42	0,44	0,47	0,51	0,55	0,59	0,64	0,69	0,74	0,80	0,86																														
0,40	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,64	0,70	0,75	0,81	0,88																														
0,39	0,42	0,46	0,50	0,55	0,60	0,65	0,71	0,77	0,83	0,90																														
0,37	0,41	0,45	0,50	0,55	0,60	0,66	0,72	0,78	0,85	0,92																														
0,34	0,39	0,43	0,49	0,54	0,60	0,66	0,73	0,79	0,87	0,94																														
0,73	0,69	0,68	0,68	0,71	0,76	0,83	0,92	1,04	1,17	1,33	1,49	1,49	1,49	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,37	1,35	1,32	1,29	1,26	1,22	1,19	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	0,71
0,77	0,72	0,70	0,71	0,73	0,78	0,85	0,95	1,07	1,21	1,37	1,44	1,43	1,43	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,37	1,36	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,23	1,20	1,17	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78	0,75	0,71
0,80	0,76	0,73	0,73	0,75	0,80	0,88	0,97	1,10	1,24	1,41	1,38	1,38	1,37	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,27	1,26	1,24	1,22	1,20	1,18	1,16	0,87	0,88	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,84	0,81	0,78	0,75	0,71
0,84	0,79	0,76	0,75	0,78	0,82	0,90	1,00	1,12	1,28	1,45	1,33	1,32	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,19	1,18	1,16	1,15	0,85	0,87	0,88	0,88	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
0,88	0,82	0,79	0,78	0,80	0,85	0,92	1,02	1,15	1,31	1,50	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	0,83	0,85	0,87	0,87	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71
0,93	0,86	0,82	0,80	0,82	0,87	0,94	1,05	1,18	1,35	1,54	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,20	1,19	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	0,81	0,83	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,75	0,70
0,97	0,89	0,84	0,83	0,84	0,89	0,97	1,07	1,21	1,38	1,58	1,19	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,11	1,10	1,10	0,78	0,81	0,84	0,86	0,87	0,87	0,86	0,84	0,82	0,79	0,74	0,70
1,01	0,93	0,87	0,85	0,87	0,91	0,99	1,10	1,24	1,42	1,62	1,15	1,14	1,13	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,08	0,75	0,79	0,82	0,85	0,86	0,86	0,86	0,84	0,82	0,78	0,74	0,69	
1,06	0,96	0,91	0,88	0,89	0,93	1,01	1,12	1,27	1,45	1,67	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	0,72	0,77	0,81	0,84	0,85	0,86	0,						

Tablo 5.5 2,1 A için bacadan 8.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,15	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,28	0,35	0,38	0,40	0,42	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,43	0,42	0,40	0,50	0,49	0,48	0,47	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
0,15	0,16	0,21	0,24	0,25	0,30	0,31	0,42	0,48	0,49	0,50	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,45	0,44	0,54	0,49	0,48	0,47	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
0,16	0,20	0,25	0,26	0,28	0,34	0,41	0,44	0,50	0,59	0,63	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,56	0,52	0,51	0,50	0,45	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	
0,17	0,22	0,25	0,29	0,30	0,38	0,44	0,50	0,58	0,64	0,66	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,52	0,51	0,60	0,58	0,57	0,55	0,46	0,39	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33
0,18	0,23	0,26	0,32	0,33	0,38	0,44	0,52	0,60	0,64	0,68	0,43	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,62	0,60	0,59	0,58	0,50	0,42	0,42	0,41	0,40	0,38	0,37	0,36
0,19	0,24	0,28	0,34	0,35	0,39	0,45	0,56	0,61	0,69	0,70	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58	0,65	0,62	0,61	0,59	0,57	0,45	0,44	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38
0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,41	0,47	0,58	0,62	0,70	0,71	0,51	0,54	0,56	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,64	0,63	0,61	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	0,50	0,49	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	
0,21	0,26	0,31	0,36	0,39	0,43	0,50	0,59	0,64	0,71	0,72	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,66	0,64	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,55	0,54	0,53	0,49	0,48	0,47	0,46
0,24	0,26	0,32	0,37	0,40	0,44	0,51	0,60	0,65	0,73	0,73	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	0,71	0,70	0,67	0,68	0,68	0,67	0,66	0,64	0,60	0,59	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50
0,24	0,28	0,33	0,38	0,42	0,45	0,51	0,61	0,66	0,74	0,76	0,61	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,70	0,71	0,69	0,68	0,65	0,61	0,60	0,59	0,58	0,55	0,53	0,51
0,25	0,28	0,34	0,39	0,42	0,46	0,52	0,61	0,66	0,75	0,77	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,80	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,82	0,81	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,71	0,70	0,69	0,67	0,64	0,63	0,62	0,59	0,58	0,57	0,55
0,25	0,29	0,35	0,39	0,43	0,48	0,54	0,64	0,69	0,76	0,78	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,83	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84	0,82	0,80	0,77	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,67	0,66	0,64	0,63	0,60	0,58	0,57
0,25	0,30	0,36	0,40	0,45	0,49	0,56	0,65	0,70	0,79	0,81	0,71	0,75	0,79	0,82	0,84	0,87	0,88	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,80	0,75	0,79	0,76	0,75	0,72	0,69	0,68	0,66	0,65	0,64	0,60	0,59
0,27	0,31	0,38	0,41	0,45	0,50	0,56	0,66	0,71	0,80	0,83	0,75	0,79	0,83	0,86	0,88	0,91	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,86	0,83	0,81	0,82	0,80	0,76	0,74	0,71	0,69	0,68	0,64	0,63	0,62	0,61
0,27	0,32	0,39	0,41	0,46	0,51	0,57	0,67	0,75	0,80	0,85	0,78	0,83	0,86	0,90	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,75	0,73	0,72	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66
0,27	0,33	0,39	0,43	0,47	0,52	0,58	0,68	0,75	0,82	0,89	0,82	0,86	0,90	0,93	0,96	0,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,03	1,02	1,00	0,98	0,96	0,93	0,89	0,88	0,88	0,84	0,82	0,78	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70
0,27	0,34	0,39	0,45	0,49	0,54	0,61	0,70	0,75	0,84	0,90	0,85	0,90	0,94	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,07	1,06	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,95	0,94	0,90	0,89	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,69
0,35	0,39	0,44	0,48	0,53	0,57	0,61	0,64	0,68	0,71	0,75																														
0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,73	0,77																														
0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71	0,75	0,79																														
0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77	0,81																														
0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74	0,78	0,83																														
0,43	0,47	0,51	0,55	0,58	0,63	0,67	0,71	0,75	0,80	0,84																														
0,44	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,77	0,81	0,86																														
0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78	0,83	0,88																														
0,42	0,46	0,50	0,54	0,59	0,63	0,68	0,73	0,79	0,84	0,90																														
0,41	0,45	0,49	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,79	0,85	0,91																														
0,39	0,43	0,48	0,52	0,57	0,63	0,68	0,74	0,80	0,86	0,93																														
0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,87	0,94																														
0,43	0,46	0,50	0,56	0,63	0,73	0,83	0,96	1,10	1,26	1,43	1,55	1,54	1,53	1,52	1,50	1,49	1,47	1,46	1,44	1,42	1,40	1,38	1,36	1,34	1,32	1,29	1,27	1,25	1,24	1,13	1,04	0,96	0,89	0,83	0,79	0,75	0,73	0,73	0,75	
0,45	0,47	0,51	0,57	0,64	0,74	0,85	0,98	1,13	1,29	1,48	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,39	1,37	1,36	1,34	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,23	1,26	1,14	1,04	0,96	0,88	0,82	0,78	0,74	0,72	0,72	0,74	
0,46	0,48	0,52	0,58	0,65	0,75	0,86	1,00	1,16	1,33	1,52	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,38	1,37	1,36	1,34	1,33	1,32	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25	1,23	1,22	1,28	1,16	1,05	0,96	0,88	0,82	0,77	0,73	0,71	0,70	0,71	
0,48	0,49	0,53	0,58	0,66	0,76	0,88	1,02	1,18	1,37	1,57	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,21	1,20	1,30	1,17	1,05	0,96	0,87	0,81	0,75	0,72	0,70	0,69	0,73	
0,50	0,51	0,54	0,59	0,67	0,77	0,90	1,04	1,21	1,40	1,62	1,33	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,20	1,19	1,18	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	
0,51	0,52	0,55	0,60	0,68	0,78	0,91	1,06	1,24	1,44	1,67	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,25	1,24	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,20	1,19	1,18	1,18	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	
0,53	0,53	0,56	0,61	0,69	0,79	0,92	1,08	1,27	1,48	1,72	1,25	1,24	1,24	1,23	1,22	1,22	1,21	1,21	1,20	1,20	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	
0,55	0,54	0,56	0,62	0,69	0,80	0,94	1,10	1,30	1,52	1,77	1,21	1,21	1,20	1,20	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13		
0,57	0,55	0,57	0,62	0,70	0,81	0,95	1,12	1,33	1,56	1,82	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13		
0,58	0,57	0,58	0,63	0,71																																				

Tablo 5.6 2.1 A için bacadan 9.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri..

0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,25	0,24	0,30	0,34	0,37	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,41	0,39	0,37	0,37	0,32	0,32	0,28	0,26	0,26	0,24	0,17	0,13			
0,14	0,15	0,19	0,22	0,22	0,27	0,28	0,31	0,37	0,42	0,44	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,43	0,47	0,42	0,41	0,41	0,36	0,34	0,32	0,29	0,29	0,25	0,19	0,15			
0,15	0,17	0,21	0,24	0,24	0,31	0,31	0,36	0,40	0,47	0,50	0,37	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,49	0,48	0,47	0,51	0,46	0,44	0,45	0,40	0,36	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20			
0,16	0,17	0,23	0,27	0,26	0,34	0,35	0,43	0,46	0,48	0,51	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,55	0,51	0,50	0,48	0,43	0,38	0,38	0,36	0,32	0,29	0,25	0,20			
0,17	0,19	0,25	0,29	0,30	0,37	0,39	0,46	0,49	0,52	0,54	0,44	0,47	0,50	0,52	0,54	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,55	0,53	0,58	0,54	0,53	0,51	0,47	0,41	0,40	0,38	0,34	0,30	0,25	0,21			
0,18	0,20	0,26	0,31	0,33	0,38	0,41	0,49	0,52	0,55	0,57	0,48	0,51	0,54	0,56	0,58	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,61	0,57	0,56	0,54	0,51	0,43	0,43	0,40	0,36	0,32	0,27	0,23			
0,19	0,20	0,29	0,32	0,36	0,39	0,43	0,49	0,53	0,55	0,58	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,62	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48	0,45	0,41	0,37	0,33	0,28	0,24			
0,20	0,22	0,30	0,34	0,37	0,41	0,46	0,50	0,53	0,56	0,58	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,70	0,69	0,67	0,66	0,64	0,64	0,62	0,59	0,57	0,54	0,51	0,47	0,44	0,40	0,36	0,32	0,27			
0,21	0,23	0,31	0,34	0,39	0,42	0,48	0,52	0,55	0,58	0,60	0,59	0,62	0,65	0,67	0,70	0,71	0,73	0,74	0,75	0,75	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,58	0,55	0,52	0,49	0,45	0,41	0,37	0,32	0,28			
0,23	0,23	0,32	0,35	0,40	0,44	0,49	0,53	0,56	0,58	0,61	0,62	0,66	0,69	0,71	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,79	0,80	0,79	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,70	0,66	0,65	0,63	0,62	0,56	0,53	0,50	0,46	0,42	0,38	0,34	0,29			
0,22	0,24	0,34	0,36	0,41	0,44	0,50	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,84	0,83	0,83	0,82	0,80	0,78	0,76	0,73	0,69	0,66	0,65	0,65	0,58	0,55	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34	0,29			
0,23	0,25	0,34	0,37	0,42	0,45	0,51	0,57	0,61	0,64	0,66	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,87	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,76	0,72	0,70	0,67	0,67	0,61	0,57	0,54	0,50	0,45	0,40	0,36	0,30			
0,24	0,26	0,35	0,38	0,43	0,47	0,54	0,58	0,61	0,66	0,67	0,72	0,76	0,80	0,83	0,85	0,88	0,89	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89	0,88	0,85	0,83	0,80	0,74	0,75	0,71	0,70	0,67	0,63	0,59	0,55	0,51	0,46	0,41	0,36			
0,25	0,27	0,36	0,38	0,44	0,48	0,55	0,58	0,62	0,68	0,69	0,75	0,79	0,83	0,86	0,89	0,92	0,93	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,83	0,77	0,77	0,73	0,71	0,69	0,65	0,60	0,56	0,51	0,47	0,42	0,37			
0,27	0,28	0,37	0,40	0,44	0,50	0,56	0,59	0,64	0,71	0,71	0,78	0,83	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,89	0,86	0,81	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63	0,58	0,54	0,49	0,43	0,38			
0,27	0,30	0,38	0,41	0,46	0,51	0,58	0,61	0,65	0,73	0,74	0,81	0,86	0,90	0,94	0,97	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,89	0,84	0,83	0,80	0,76	0,73	0,69	0,65	0,60	0,55	0,50	0,44	0,38			
0,28	0,31	0,38	0,42	0,47	0,52	0,60	0,63	0,67	0,76	0,76	0,84	0,89	0,93	0,97	1,01	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,85	0,82	0,79	0,75	0,71	0,66	0,62	0,57	0,51	0,45	0,39			
0,34	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74																																	
0,37	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77																																	
0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79																																	
0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,69	0,73	0,77	0,82																																	
0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,66	0,70	0,74	0,79	0,84																																	
0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,67	0,71	0,76	0,81	0,86																																	
0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88																																	
0,42	0,46	0,50	0,54	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78	0,84	0,89																																	
0,42	0,45	0,50	0,54	0,58	0,63	0,68	0,73	0,79	0,85	0,91																																	
0,40	0,44	0,49	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92																																	
0,39	0,43	0,47	0,52	0,57	0,63	0,68	0,74	0,80	0,86	0,93																																	
0,37	0,41	0,46	0,51	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	0,87	0,94																																	
0,35	0,42	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,78	0,84	0,88	0,93	1,50	1,50	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,39	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,22	1,10	1,06	1,02	0,98	0,94	0,89	0,83	0,78				
0,36	0,43	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,79	0,84	0,89	0,94	1,45	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,37	1,36	1,35	1,33	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,22	1,21	1,10	1,07	1,03	0,99	0,94	0,89	0,84	0,78	0,72	0,65	0,58	0,51		
0,36	0,43	0,50	0,57	0,63	0,69	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,39	1,39	1,38	1,38	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,10	1,07	1,03	0,99	0,94	0,89	0,84	0,78	0,72	0,66	0,59	0,51
0,37	0,44	0,51	0,57	0,64	0,70	0,75	0,81	0,86	0,91	0,95	1,35	1,34	1,34	1,33	1,32	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,19	1,11	1,07	1,04	0,99	0,95	0,90	0,85	0,79	0,73	0,66	0,59	0,52			
0,37	0,44	0,51	0,58	0,64	0,70	0,76	0,81	0,86	0,91	0,96	1,30	1,30	1,29	1,29	1,28	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,11	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,85	0,79	0,73	0,67	0,60	0,52			
0,38	0,45	0,52	0,58	0,65	0,71	0,76	0,82	0,87	0,92	0,96	1,26	1,26	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22	1,21	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,15	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,91	0,86	0,80	0,74	0,67	0,60	0,53	
0,38	0,45	0,52	0,59	0,65	0,71	0,77	0,82	0,87	0,92	0,97	1,22	1,22	1,22	1,22	1,21	1,21	1,21	1,20	1,20	1,19	1,19	1,18	1,18	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,11	1,08	1,05	1,01	0,96	0,91	0,86	0,80	0,74	0,67	0,60	0,53		
0,38	0,46	0,53	0,59	0,66	0,72	0,77	0,83	0,88	0,93	0,97	1,19	1,19	1,19	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14	1,13	1,13	1,11	1,08	1,05	1,01	0,97	0,92	0,86	0,81	0,74	0,68	0,60	0,53		
0,39	0,46	0,53	0,60	0,66	0,72	0,78	0,83	0,88	0,93	0,97	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,13	1																	

0.14	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.19	0.25	0.29	0.32	0.26	0.29	0.32	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.37	0.34	0.30	0.29	0.28	0.28	0.24	0.23	0.23	0.20	0.16	0.12		
0.14	0.14	0.17	0.19	0.21	0.21	0.23	0.24	0.31	0.35	0.38	0.31	0.34	0.36	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.42	0.36	0.34	0.34	0.31	0.28	0.28	0.25	0.21	0.17	0.12		
0.15	0.15	0.20	0.22	0.22	0.29	0.28	0.30	0.34	0.38	0.43	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.47	0.46	0.44	0.46	0.40	0.37	0.38	0.37	0.33	0.33	0.33	0.29	0.26	0.22	0.18	
0.16	0.16	0.23	0.24	0.25	0.32	0.30	0.35	0.38	0.41	0.45	0.39	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.52	0.51	0.49	0.47	0.50	0.45	0.41	0.42	0.40	0.36	0.36	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	
0.17	0.17	0.24	0.27	0.28	0.35	0.34	0.38	0.41	0.46	0.48	0.43	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.54	0.53	0.51	0.52	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.33	0.28	0.23	0.19	
0.18	0.18	0.25	0.28	0.31	0.37	0.37	0.42	0.44	0.48	0.51	0.46	0.49	0.52	0.54	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.56	0.54	0.56	0.52	0.49	0.48	0.46	0.42	0.41	0.38	0.34	0.29	0.25	0.20	
0.18	0.19	0.28	0.30	0.34	0.38	0.39	0.44	0.47	0.50	0.54	0.50	0.53	0.56	0.58	0.60	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64	0.63	0.61	0.59	0.57	0.57	0.55	0.52	0.51	0.49	0.45	0.43	0.39	0.35	0.31	0.27	0.22	0.17	
0.18	0.20	0.29	0.31	0.36	0.40	0.42	0.46	0.48	0.52	0.56	0.53	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.68	0.66	0.65	0.63	0.61	0.61	0.58	0.54	0.53	0.51	0.48	0.47	0.44	0.40	0.36	0.31	0.28	
0.20	0.21	0.31	0.32	0.37	0.41	0.44	0.48	0.51	0.54	0.57	0.57	0.60	0.63	0.65	0.68	0.69	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.61	0.59	0.55	0.52	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.33	0.28
0.22	0.21	0.31	0.34	0.39	0.43	0.46	0.51	0.52	0.56	0.59	0.60	0.64	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.75	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63	0.59	0.55	0.53	0.52	0.49	0.46	0.42	0.38	0.34	0.30
0.22	0.22	0.33	0.34	0.40	0.44	0.47	0.52	0.54	0.59	0.61	0.63	0.67	0.70	0.74	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81	0.80	0.79	0.77	0.76	0.73	0.71	0.67	0.65	0.61	0.61	0.55	0.55	0.51	0.48	0.44	0.39		

Tablo 5.8 2,1 A için bacadan 11.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,13	0,14	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,16	0,21	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,35	0,30	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,20	0,19	0,19	0,17	0,15	0,11		
0,14	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,20	0,26	0,30	0,33	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40	0,38	0,38	0,29	0,28	0,28	0,29	0,28	0,24	0,24	0,22	0,20	0,16	0,11	
0,15	0,15	0,19	0,21	0,22	0,26	0,26	0,24	0,28	0,33	0,36	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,44	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,41	0,34	0,32	0,33	0,34	0,29	0,29	0,29	0,27	0,24	0,20	0,17
0,16	0,15	0,21	0,23	0,24	0,30	0,28	0,29	0,31	0,36	0,39	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,46	0,39	0,35	0,37	0,36	0,34	0,34	0,31	0,28	0,24	0,20	0,16	
0,16	0,16	0,23	0,25	0,26	0,32	0,30	0,32	0,34	0,40	0,42	0,40	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,41	0,40	0,39	0,40	0,36	0,36	0,33	0,29	0,26	0,22	0,17
0,17	0,17	0,25	0,26	0,30	0,34	0,34	0,36	0,37	0,42	0,45	0,43	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,58	0,58	0,57	0,56	0,55	0,53	0,51	0,50	0,46	0,43	0,43	0,42	0,38	0,38	0,36	0,32	0,28	0,23	0,19
0,18	0,18	0,26	0,29	0,32	0,37	0,37	0,39	0,41	0,44	0,47	0,47	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60	0,58	0,56	0,54	0,54	0,50	0,46	0,46	0,44	0,42	0,41	0,38	0,34	0,30	0,25	0,21
0,19	0,19	0,29	0,30	0,33	0,38	0,38	0,41	0,43	0,48	0,49	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,62	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,57	0,56	0,53	0,48	0,48	0,48	0,46	0,46	0,43	0,40	0,36	0,30	0,28
0,20	0,20	0,30	0,31	0,35	0,40	0,39	0,45	0,45	0,51	0,52	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,69	0,69	0,68	0,66	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,52	0,51	0,50	0,50	0,47	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28
0,21	0,20	0,30	0,32	0,38	0,42	0,41	0,47	0,48	0,52	0,54	0,57	0,60	0,63	0,66	0,68	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,59	0,54	0,54	0,52	0,52	0,48	0,45	0,41	0,38	0,34	0,29
0,22	0,21	0,32	0,33	0,39	0,43	0,43	0,49	0,50	0,55	0,57	0,60	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,62	0,57	0,57	0,54	0,54	0,51	0,47	0,43	0,39	0,35	0,30
0,23	0,22	0,33	0,34	0,41	0,46	0,45	0,51	0,52	0,57	0,60	0,63	0,66	0,70	0,72	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81	0,81	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,73	0,70	0,67	0,64	0,59	0,59	0,56	0,56	0,55	0,51	0,47	0,42	0,37	0,32	
0,24	0,23	0,34	0,35	0,42	0,48	0,47	0,53	0,54	0,59	0,63	0,65	0,69	0,73	0,76	0,78	0,81	0,82	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69	0,63	0,64	0,60	0,60	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38	0,32
0,25	0,24	0,35	0,36	0,43	0,49	0,49	0,55	0,56	0,62	0,64	0,68	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,76	0,75	0,72	0,66	0,66	0,62	0,61	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38	0,32
0,28	0,25	0,36	0,38	0,44	0,51	0,52	0,56	0,58	0,64	0,68	0,70	0,75	0,79	0,82	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,83	0,79	0,79	0,75	0,70	0,69	0,65	0,66	0,61	0,56	0,51	0,45	0,39	0,33
0,28	0,26	0,37	0,40	0,45	0,53	0,55	0,59	0,62	0,66	0,70	0,73	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,95	0,94	0,92	0,89	0,86	0,82	0,81	0,78	0,73	0,70	0,67	0,67	0,62	0,57	0,51	0,45	0,39	0,32
0,30	0,28	0,38	0,41	0,46	0,54	0,57	0,62	0,64	0,68	0,72	0,75	0,80	0,85	0,89	0,92	0,95	0,98	0,99	1,01	1,01	1,01	1,01	0,99	0,98	0,95	0,93	0,89	0,85	0,83	0,80	0,78	0,73	0,70	0,68	0,63	0,57	0,52	0,46	0,39	0,33
0,27	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,59	0,63	0,66																														
0,29	0,33	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,65	0,69																														
0,30	0,35	0,39	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71																														
0,31	0,36	0,40	0,45	0,49	0,53	0,58	0,62	0,66	0,69	0,73																														
0,32	0,36	0,41	0,46	0,50	0,54	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75																														
0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,73	0,77																														
0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,65	0,69	0,74	0,79																														
0,32	0,37	0,41	0,46	0,51	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80																														
0,32	0,36	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81																														
0,31	0,35	0,39	0,44	0,49	0,54	0,59	0,65	0,70	0,76	0,83																														
0,30	0,34	0,38	0,42	0,47	0,53	0,58	0,64	0,70	0,77	0,84																														
0,29	0,32	0,36	0,41	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,77	0,84																														
0,32	0,38	0,45	0,51	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,80	0,83	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,17	1,15	1,13	1,11	1,00	0,98	0,96	0,92	0,89	0,84	0,80	0,74	0,68	0,61	0,54	0,46
0,31	0,38	0,45	0,51	0,56	0,62	0,67	0,71	0,76	0,80	0,83	1,13	1,15	1,16	1,18	1,18	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,19	1,18	1,18	1,16	1,15	1,13	1,11	1,09	1,00	0,99	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,75	0,69	0,62	0,54	0,47
0,31	0,38	0,44	0,50	0,56	0,61	0,66	0,71	0,75	0,79	0,83	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,10	1,08	1,01	0,99	0,96	0,93	0,90	0,86	0,81	0,75	0,69	0,62	0,55	0,47	
0,31	0,37	0,44	0,50	0,56	0,61	0,66	0,71	0,75	0,79	0,83	1,10	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,13	1,13	1,12	1,11	1,10	1,08	1,07	1,01	0,99	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,63	0,55	0,47	
0,30	0,37	0,43	0,49	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,79	0,82	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,05	1,01	0,99	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,63	0,56	0,48
0,30	0,36	0,43	0,49	0,54	0,60	0,65	0,70	0,74	0,78	0,82	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,76	0,70	0,63	0,56	0,48	
0,29	0,36	0,42	0,48	0,54	0,59	0,64	0,69	0,73	0,77	0,81	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,76	0,70	0,64	0,56	0,48	
0,28	0,35	0,41	0,47	0,53	0,58	0,63	0,68	0,72	0,76	0,80	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	1,00	0,98	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,71	0,64	0,56	0,48
0,28	0,34	0,40	0,46	0,52	0,57	0,62	0,67	0,71	0,75	0,79	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,71				

Tablo 5.9 2,1 A için bacaktan 12.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri

0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.18	0.19	0.15	0.18	0.21	0.23	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.11	
0.14	0.14	0.16	0.17	0.18	0.20	0.22	0.19	0.23	0.26	0.29	0.25	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.35	0.26	0.23	0.23	0.23	0.23	0.21	0.21	0.18	0.18	0.15	0.11	
0.15	0.15	0.18	0.19	0.20	0.23	0.25	0.22	0.24	0.28	0.31	0.29	0.31	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.38	0.29	0.26	0.26	0.28	0.26	0.25	0.25	0.25	0.22	0.19	0.16		
0.16	0.16	0.20	0.22	0.23	0.26	0.26	0.25	0.27	0.30	0.34	0.32	0.35	0.37	0.40	0.41	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.41	0.42	0.32	0.29	0.30	0.30	0.28	0.28	0.28	0.27	0.23	0.19	0.16		
0.16	0.16	0.21	0.23	0.25	0.29	0.28	0.28	0.30	0.34	0.37	0.36	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.50	0.49	0.49	0.47	0.46	0.44	0.45	0.37	0.32	0.32	0.35	0.32	0.31	0.31	0.28	0.24	0.21	0.17		
0.17	0.17	0.21	0.25	0.28	0.31	0.31	0.32	0.32	0.36	0.40	0.39	0.42	0.44	0.47	0.49	0.50	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.49	0.47	0.47	0.40	0.35	0.35	0.36	0.34	0.34	0.34	0.30	0.26	0.22	0.18	
0.18	0.18	0.24	0.27	0.29	0.33	0.34	0.34	0.36	0.38	0.42	0.42	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55	0.54	0.52	0.50	0.49	0.45	0.38	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.32	0.29	0.24	0.20		
0.19	0.19	0.28	0.28	0.32	0.35	0.35	0.36	0.38	0.42	0.44	0.46	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.53	0.52	0.47	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.39	0.35	0.29	0.21	
0.20	0.20	0.29	0.30	0.34	0.37	0.37	0.40	0.40	0.45	0.46	0.49	0.52	0.54	0.57	0.59	0.60	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.50	0.44	0.46	0.46	0.44	0.44	0.43	0.39	0.35	0.31	0.28	
0.22	0.20	0.29	0.31	0.36	0.39	0.38	0.42	0.43	0.47	0.49	0.52	0.55	0.57	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	0.68	0.67	0.67	0.66	0.65	0.63	0.61	0.59	0.58	0.52	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.44	0.41	0.37	0.33	0.29	
0.22	0.21	0.30	0.31	0.38	0.41	0.39	0.44	0.45	0.50	0.53	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70	0.69	0.68	0.66	0.64	0.62	0.62	0.56	0.52	0.51	0.51	0.50	0.46	0.43	0.38	0.34	0.32	0.29	
0.23	0.22	0.31	0.33	0.40	0.43	0.41	0.45	0.47	0.52	0.57	0.57	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.71	0.69	0.67	0.65	0.65	0.59	0.56	0.56	0.53	0.52	0.52	0.50	0.46	0.41	0.37	0.32	
0.24	0.23	0.33	0.34	0.41	0.45	0.44	0.46	0.50	0.54	0.60	0.60	0.63	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.68	0.63	0.59	0.60	0.56	0.55	0.55	0.52	0.47	0.42	0.37	0.32	
0.26	0.24	0.34	0.35	0.42	0.47	0.46	0.50	0.51	0.56	0.62	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81	0.80	0.80	0.79	0.77	0.76	0.73	0.71	0.71	0.66	0.62	0.62	0.57	0.57	0.56	0.52	0.47	0.42	0.37	0.32	
0.28	0.25	0.35	0.36	0.43	0.48	0.49	0.52	0.53	0.59	0.65	0.65	0.69	0.72	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.80	0.78	0.74	0.74	0.70	0.66	0.66	0.66	0.65	0.60	0.55	0.50	0.44	0.38	0.32		
0.31	0.26	0.36	0.38	0.46	0.50	0.51	0.55	0.57	0.61	0.68	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.86	0.85	0.83	0.81	0.79	0.76	0.78	0.75	0.69	0.69	0.62	0.66	0.61	0.56	0.50	0.44	0.38	0.32	
0.31	0.27	0.38	0.41	0.47	0.51	0.55	0.59	0.60	0.63	0.69	0.70	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.88	0.86	0.84	0.82	0.79	0.82	0.78	0.75	0.71	0.66	0.67	0.62	0.56	0.51	0.45	0.38	0.32	
0.20	0.25	0.30	0.34	0.39	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57	0.59																															
0.21	0.26	0.31	0.36	0.40	0.44	0.48	0.52	0.55	0.58	0.61																															
0.22	0.27	0.32	0.37	0.41	0.45	0.49	0.53	0.56	0.59	0.62																															
0.22	0.28	0.33	0.37	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64																															
0.23	0.28	0.33	0.38	0.42	0.47	0.51	0.55	0.59	0.62	0.66																															
0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47	0.51	0.56	0.60	0.64	0.67																															
0.23	0.28	0.33	0.38	0.42	0.47	0.52	0.56	0.61	0.65	0.69																															
0.22	0.27	0.32	0.37	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.66	0.71																															
0.21	0.26	0.31	0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.68	0.73																															
0.20	0.25	0.30	0.35	0.41	0.46	0.52	0.57	0.63	0.69	0.75																															
0.19	0.24	0.29	0.34	0.39	0.45	0.51	0.57	0.64	0.70	0.77																															
0.17	0.22	0.27	0.32	0.38	0.44	0.50	0.57	0.64	0.71	0.79																															
0.36	0.41	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01	0.98	0.97	0.95	0.92	0.88	0.84	0.79	0.73	0.67	0.59	0.51	0.43
0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	1.01	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.84	0.79	0.74	0.67	0.60	0.52	0.44	
0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	1.01	1.03	1.04	1.05	1.05	1.06	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	0.98	0.95	0.93	0.89	0.85	0.80	0.74	0.68	0.61	0.53	0.44		
0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.99	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.99	0.98	0.96	0.93	0.89	0.85	0.80	0.75	0.68	0.61	0.53	0.45	
0.36	0.41	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.97	0.98	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	0.99	0.98	0.96	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.85	0.81	0.75	0.69	0.62	0.54	0.45	
0.35	0.41	0.47	0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.94	0.96	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.86	0.81	0.75	0.69	0.62	0.54	0.46		
0.35	0.41	0.47	0.52	0.57	0.62	0.66	0.71	0.75	0.79	0.82	0.91	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.93	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90	0.86	0.81	0.75	0.69	0.62	0.55	0.46		
0.35	0.41	0.46	0.52	0.57	0.61	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.98	0.97	0.95	0.93	0.89	0.86	0.81	0.76	0.69	0.63	0.55	0.47	
0.35	0.40	0.46	0.51	0.56	0.61	0.65	0.70	0.74	0.77	0.81	0.85	0.87	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.97	0.96	0.95	0.92	0.89	0.85	0.81	0.76	0.70	0.63	0.56	0.47
0.34	0.40	0.45	0.51	0.56	0.60	0.65	0.69	0.73	0.77	0.80	0.81																														

0.43	0.30	0.34	0.37	0.42	0.44	0.45	0.50	0.67	1.07	1.00	0.90	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.60	0.61	0.63	0.63	0.64	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.53	0.50	0.46	0.83	0.71	0.65	0.58	0.56	0.52	0.46	0.44	0.41	0.40	0.15	0.14
0.19	0.39	0.54	0.56	0.57	0.60	0.68	0.73	0.91	1.00	1.00	0.49	0.55	0.60	0.64	0.68	0.71	0.74	0.75	0.77	0.77	0.77	0.76	0.75	0.73	0.71	0.67	0.63	0.59	0.87	0.72	0.68	0.61	0.60	0.54	0.51	0.45	0.42	0.42	0.37	0.22	
0.39	0.43	0.60	0.66	0.71	0.92	0.95	0.95	1.02	1.05	1.13	0.56	0.62	0.68	0.73	0.78	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.90	0.89	0.88	0.86	0.83	0.80	0.76	0.71	0.94	0.82	0.70	0.67	0.67	0.63	0.53	0.52	0.42	0.42	0.38	0.30	
0.42	0.46	0.60	0.69	0.77	0.95	1.01	1.03	1.07	1.15	1.17	0.62	0.69	0.76	0.84	0.82	0.87	0.92	0.95	0.98	1.00	1.01	1.02	1.01	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.82	0.96	0.83	0.79	0.71	0.69	0.61	0.55	0.45	0.42	0.40	0.34	
0.45	0.50	0.62	0.74	0.77	1.02	1.06	1.07	1.14	1.20	1.24	0.68	0.76	0.86	0.90	0.96	1.01	1.05	1.08	1.11	1.12	1.13	1.12	1.11	1.09	1.06	1.03	0.98	0.93	1.06	0.87	0.81	0.74	0.72	0.71	0.64	0.58	0.46	0.45	0.42	0.38	
0.48	0.54	0.70	0.75	0.99	1.05	1.10	1.19	1.21	1.24	1.26	1.34	0.73	0.82	0.91	0.98	1.04	1.09	1.14	1.17	1.20	1.22	1.23	1.22	1.21	1.19	1.16	1.13	1.08	1.02	1.03	0.89	0.85	0.75	0.74	0.71	0.67	0.62	0.52	0.48	0.42	0.39
0.51	0.62	0.73	0.78	0.99	1.10	1.17	1.21	1.24	1.28	1.34	0.78	0.88	0.97	1.05	1.11	1.17	1.22	1.26	1.29	1.31	1.32	1.31	1.30	1.28	1.25	1.21	1.17	1.11	1.06	0.89	0.88	0.78	0.76	0.71	0.69	0.63	0.55	0.48	0.42	0.40	
0.52	0.63	0.75	0.87	1.01	1.11	1.20	1.23	1.24	1.28	1.64	0.83	0.94	1.03	1.11	1.18	1.24	1.29	1.33	1.36	1.38	1.40	1.40	1.39	1.37	1.33	1.29	1.24	1.18	1.06	0.95	0.88	0.80	0.77	0.74	0.70	0.66	0.56	0.48	0.42	0.4	
0.55	0.65	0.76	0.88	1.04	1.12	1.20	1.30	1.30	1.32	1.65	0.88	0.98	1.08	1.16	1.24	1.30	1.36	1.40	1.43	1.45	1.47	1.47	1.46	1.44	1.41	1.36	1.31	1.25	1.06	1.03	0.89	0.84	0.79	0.75	0.70	0.67	0.56	0.52	0.43	0.42	
0.58	0.70	0.76	0.90	1.05	1.13	1.22	1.33	1.34	1.35	1.75	0.92	1.03	1.13	1.21	1.29	1.36	1.41	1.46	1.49	1.51	1.53	1.53	1.52	1.50	1.47	1.42	1.37	1.31	1.11	1.05	0.91	0.85	0.82	0.75	0.71	0.69	0.63	0.55	0.44	0.42	
0.59	0.73	0.77	0.95	1.06	1.14	1.27	1.35	1.38	1.40	1.79	0.96	1.07	1.17	1.26	1.34	1.40	1.46	1.51	1.54	1.56	1.58	1.58	1.57	1.55	1.52	1.47	1.42	1.36	1.11	1.05	0.93	0.87	0.83	0.79	0.73	0.70	0.67	0			

Tablo 5.11 4 A için bacadan 6.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,30	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,57	0,64	0,71	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,93	0,91	0,88	0,84	0,80	0,75	0,47	0,45	0,43	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20	0,16
0,27	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,75	0,84	0,92	0,99	1,05	1,10	1,14	1,17	1,19	1,20	1,20	1,19	1,17	1,14	1,11	1,06	1,00	0,93	0,53	0,51	0,49	0,46	0,44	0,41	0,38	0,35	0,32	0,29	0,25	0,21
0,37	0,41	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,91	1,02	1,11	1,19	1,25	1,31	1,36	1,39	1,41	1,42	1,42	1,41	1,39	1,35	1,31	1,25	1,18	1,10	0,59	0,57	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,33	0,29	0,25
0,40	0,43	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	1,06	1,18	1,28	1,36	1,44	1,50	1,55	1,59	1,61	1,62	1,62	1,61	1,58	1,54	1,49	1,43	1,35	1,26	0,65	0,62	0,60	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,27
0,41	0,45	0,48	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	1,19	1,32	1,43	1,52	1,60	1,67	1,72	1,76	1,79	1,80	1,80	1,78	1,75	1,71	1,65	1,58	1,49	1,40	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,54	0,50	0,47	0,43	0,39	0,35	0,30
0,42	0,47	0,51	0,56	0,60	0,63	0,67	0,70	0,73	0,76	0,78	1,31	1,44	1,55	1,66	1,74	1,81	1,87	1,91	1,94	1,95	1,95	1,93	1,90	1,85	1,79	1,71	1,62	1,52	0,76	0,73	0,70	0,67	0,63	0,59	0,55	0,51	0,46	0,42	0,37	0,31
0,45	0,50	0,54	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,77	0,80	0,83	1,40	1,53	1,64	1,77	1,81	1,94	1,99	2,04	2,07	2,08	2,08	2,06	2,02	1,97	1,91	1,83	1,73	1,62	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,63	0,58	0,54	0,49	0,44	0,38	0,33
0,45	0,50	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,77	0,80	0,83	1,48	1,54	1,66	1,86	1,86	2,03	2,10	2,14	2,17	2,18	2,18	2,16	2,13	2,07	2,01	1,92	1,82	1,70	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,63	0,59	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33
0,47	0,53	0,59	0,64	0,69	0,73	0,78	0,82	0,85	0,89	0,92	1,54	1,62	1,73	1,93	1,92	2,11	2,17	2,22	2,25	2,26	2,26	2,24	2,20	2,15	2,08	2,00	1,89	1,77	0,89	0,85	0,82	0,78	0,73	0,69	0,64	0,59	0,53	0,47	0,41	0,35
0,53	0,59	0,64	0,68	0,73	0,77	0,81	0,84	0,88	0,90	0,93	1,59	1,62	1,75	1,98	1,96	2,16	2,23	2,27	2,30	2,32	2,32	2,30	2,26	2,21	2,14	2,05	1,95	1,82	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73	0,68	0,63	0,58	0,53	0,47	0,41	0,35
0,56	0,62	0,67	0,73	0,78	0,82	0,87	0,91	0,94	0,98	1,01	1,61	1,68	1,80	2,01	2,00	2,19	2,26	2,30	2,34	2,35	2,35	2,33	2,29	2,24	2,17	2,08	1,98	1,86	0,94	0,91	0,87	0,82	0,78	0,73	0,67	0,62	0,56	0,49	0,43	0,36
0,65	0,71	0,76	0,80	0,85	0,89	0,92	0,96	0,99	1,02	1,04	1,62	1,69	1,82	2,02	2,03	2,20	2,26	2,31	2,34	2,36	2,36	2,34	2,30	2,25	2,18	2,10	2,00	1,88	0,93	0,90	0,86	0,81	0,77	0,72	0,67	0,61	0,55	0,49	0,43	0,36
0,57	0,64	0,72	0,79	0,85	0,91	0,97	1,02	1,07	1,11	1,15	1,62	1,73	1,86	2,00	2,06	2,18	2,24	2,29	2,32	2,34	2,34	2,32	2,29	2,24	2,17	2,09	1,99	1,88	1,09	1,05	1,00	0,95	0,89	0,83	0,76	0,69	0,62	0,54	0,46	0,37
0,57	0,65	0,73	0,80	0,87	0,93	0,99	1,05	1,10	1,14	1,18	1,59	1,74	1,87	1,97	2,08	2,14	2,20	2,25	2,28	2,30	2,30	2,28	2,25	2,21	2,14	2,06	1,97	1,86	1,14	1,10	1,05	0,99	0,93	0,87	0,80	0,73	0,65	0,57	0,49	0,40
0,59	0,67	0,76	0,83	0,91	0,97	1,04	1,10	1,15	1,20	1,24	1,55	1,76	1,89	1,91	2,10	2,08	2,14	2,19	2,22	2,23	2,23	2,22	2,19	2,15	2,09	2,02	1,93	1,83	1,21	1,16	1,11	1,05	0,99	0,92	0,85	0,77	0,69	0,61	0,52	0,42
0,59	0,68	0,76	0,84	0,92	0,99	1,05	1,11	1,17	1,22	1,26	1,49	1,76	1,90	1,83	2,11	1,99	2,05	2,10	2,13	2,14	2,15	2,14	2,11	2,07	2,02	1,95	1,87	1,78	1,23	1,18	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	0,79	0,71	0,62	0,53	0,43
0,61	0,72	0,82	0,91	1,00	1,08	1,16	1,23	1,29	1,35	1,41	1,41	1,77	1,90	1,73	2,12	1,88	1,94	1,98	2,01	2,03	2,03	2,03	2,01	1,97	1,93	1,87	1,79	1,71	1,38	1,32	1,26	1,19	1,12	1,04	0,96	0,86	0,77	0,67	0,56	0,45
0,67	0,76	0,85	0,94	1,02	1,10	1,17	1,24	1,31	1,37	1,44																			1,36	1,30	1,23	1,17	1,10	1,03	0,96	0,89	0,82	0,74	0,66	0,59
0,70	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08	1,15	1,22	1,29	1,36	1,43																			1,40	1,33	1,26	1,19	1,13	1,06	0,99	0,92	0,86	0,79	0,72	0,66
0,72	0,79	0,86	0,93	1,00	1,07	1,14	1,22	1,29	1,36	1,44																			1,44	1,36	1,29	1,22	1,16	1,09	1,02	0,96	0,90	0,83	0,77	0,71
0,75	0,81	0,88	0,94	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30	1,37	1,45																			1,48	1,40	1,33	1,25	1,18	1,12	1,05	0,99	0,93	0,87	0,82	0,76
0,78	0,84	0,90	0,96	1,03	1,09	1,17	1,24	1,31	1,39	1,47																			1,51	1,43	1,36	1,28	1,21	1,15	1,08	1,02	0,96	0,90	0,85	0,80
0,80	0,86	0,92	0,99	1,05	1,12	1,19	1,27	1,34	1,42	1,50																			1,55	1,47	1,39	1,31	1,24	1,17	1,11	1,05	0,99	0,93	0,88	0,82
0,83	0,89	0,96	1,02	1,09	1,16	1,23	1,31	1,38	1,46	1,54																			1,58	1,50	1,42	1,35	1,27	1,20	1,13	1,07	1,01	0,95	0,89	0,84
0,85	0,92	0,99	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36	1,43	1,50	1,58																			1,61	1,53	1,45	1,38	1,30	1,23	1,16	1,09	1,03	0,96	0,90	0,84
0,87	0,96	1,04	1,12	1,20	1,27	1,35	1,42	1,49	1,56	1,63																			1,65	1,57	1,49	1,41	1,33	1,26	1,18	1,11	1,04	0,97	0,90	0,84
0,90	1,00	1,09	1,18	1,27	1,35	1,42	1,50	1,56	1,63	1,69																			1,68	1,60	1,52	1,44	1,36	1,29	1,21	1,13	1,05	0,97	0,90	0,82
0,92	1,04	1,15	1,25	1,34	1,43	1,51	1,58	1,65	1,70	1,75																			1,71	1,63	1,55	1,47	1,39	1,31	1,23	1,15	1,06	0,97	0,88	0,79
0,94	1,08	1,21	1,33	1,43	1,53	1,61	1,68	1,74	1,79	1,83																			1,73	1,66	1,59	1,51	1,43	1,34	1,25	1,16	1,06	0,96	0,86	0,75
1,06	1,21	1,35	1,48	1,60	1,72	1,83	1,93	2,02	2,11	2,18	3,48	3,57	3,66	3,73	3,79	3,85	3,90	3,93	3,96	3,98	3,99	3,99	3,98	3,96	3,94	3,90	3,85	3,80	2,08	1,99	1,90	1,79	1,68	1,56	1,43	1,30	1,15	1,00	0,84	0,67
1,13	1,28	1,43	1,57	1,70	1,83	1,94	2,05	2,14	2,23	2,31	3,41	3,49	3,56	3,62	3,68	3,73	3,77	3,80	3,82	3,84	3,85	3,85	3,85	3,83	3,81	3,78	3,75	3,70	2,19	2,09	1,99	1,88	1,76	1,64	1,50	1,36	1,20	1,04	0,87	0,70
1,18	1,34	1,48	1,62	1,75	1,87	1,98	2,08	2,17	2,26	2,34	3,34	3,41	3,47	3,52	3,57	3,61	3,65	3,67	3,70	3,71	3,72	3,72	3,72	3,71	3,69	3,67	3,64	3,60	2,19	2,10	2,00	1,89	1,77	1,64	1,51	1,37	1,21	1,05	0,88	0,71
1,18	1,33	1,48	1,62	1,75	1,87	1,98	2,08	2,18	2,26	2,34	3,27	3,33	3,38	3,43	3,47	3,50	3,53	3,56	3,58	3,59	3,60	3,60	3,60	3,59	3,57	3,55	3,53	3,50	2,20	2,11	2,01	1,90	1,78	1,66	1,52	1,38	1,23	1,07	0,90	0,72
1,25	1,40	1,54	1,68	1,81	1,93	2,04	2,14	2,23	2,32	2,40	3,19	3,25	3,29	3,34	3,37	3,40	3,43	3,45	3,47	3,48	3,49	3,49	3,48	3,47	3,46	3,44	3,42	3,39	2,24	2,15	2,05	1,94	1,82	1,70	1,56	1,42	1,26	1,10	0,94	0,76
1,36	1,51	1,66	1,80	1,93	2,05	2,16	2,27	2,36	2,45	2,52	3,11	3,16	3,21	3,25	3,28	3,31	3,34	3,36	3,37	3,38	3,38	3,38	3,38	3,37	3,35	3,33	3,30	3,27	2,34	2,25	2,14	2,03	1,91	1,78	1,64	1,49	1,33	1,16	0,99	0,80
1,38	1,54	1,69	1,83	1,96	2,08	2,19	2,30	2,39	2,48	2,56	3,03	3,08	3,13	3,17	3,20	3,23	3,25	3,27	3,28	3,29	3,29	3,29	3,28	3,26	3,24	3,22	3,19	3,15	2,37	2,27	2									

0.22	0.36	0.35	0.32	0.30	0.24	0.24	0.21	0.21	0.18	0.31	0.74	0.80	0.86	0.91	0.95	0.98	1.01	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	1.06	1.04	1.02	0.99	0.96	0.92	0.45	0.30	0.28	0.28	0.24	0.22	0.21	0.20	0.20	0.18	0.17	0.17
0.33	0.40	0.35	0.33	0.32	0.30	0.26	0.26	0.24	0.20	0.45	0.92	0.99	1.05	1.11	1.16	1.20	1.23	1.26	1.28	1.29	1.30	1.29	1.29	1.27	1.25	1.21	1.18	1.13	0.81	0.57	0.48	0.44	0.35	0.34	0.30	0.28	0.24	0.22	0.21	0.20
0.36	0.40	0.40	0.40	0.36	0.32	0.29	0.28	0.26	0.21	0.46	1.08	1.16	1.23	1.29	1.35	1.39	1.43	1.46	1.48	1.50	1.50	1.50	1.49	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	0.86	0.58	0.56	0.50	0.47	0.44	0.43	0.33	0.30	0.24	0.22	0.21
0.38	0.43	0.44	0.42	0.44	0.42	0.34	0.32	0.30	0.27	0.51	1.22	1.31	1.39	1.46	1.51	1.57	1.61	1.64	1.67	1.68	1.69	1.69	1.68	1.66	1.63	1.60	1.55	1.50	0.91	0.66	0.65	0.58	0.57	0.52	0.50	0.37	0.35	0.35	0.29	0.22
0.38	0.48	0.49	0.49	0.52	0.50	0.45	0.38	0.34	0.32	0.67	1.35	1.44	1.53	1.60	1.67	1.72	1.77	1.80	1.83	1.85	1.86	1.85	1.84	1.82	1.79	1.76	1.71	1.65	0.96	0.71	0.70	0.67	0.58	0.54	0.52	0.50	0.46	0.36	0.33	0.24
0.38	0.48	0.50	0.51	0.53	0.51	0.51	0.50	0.40	0.37	0.75	1.46	1.56	1.65	1.73	1.80	1.86	1.90	1.94	1.97	1.99	2.00	2.00	1.99	1.97	1.93	1.89	1.84	1.78	1.01	0.80	0.77	0.70	0.63	0.58	0.57	0.57	0.51	0.41	0.34	0.25
0.40	0.50	0.54	0.52	0.56	0.54	0.54	0.52	0.52	0.37	0.90	1.56	1.66	1.76	1.84	1.91	1.97	2.02	2.06	2.09	2.11	2.12	2.12	2.11	2.09	2.05	2.01	1.96	1.89	1.05	0.80	0.79	0.71	0.65	0.65	0.61	0.60	0.56	0.42	0.36	0.27
0.40	0.50	0.60	0.54	0.64	0.70	0.60	0.57	0.52	0.45	1.05	1.64	1.72	1.83	1.93	1.99	2.06	2.12	2.16	2.20	2.22	2.22	2.22	2.21	2.19	2.15	2.11	2.05	1.98	1.06	0.85	0.81	0.79	0.68	0.67	0.65	0.65	0.59	0.51	0.38	0.27
0.42	0.54	0.65	0.56	0.75	0.70	0.64	0.62	0.61	0.53	1.05	1.70	1.75	1.84	2.00	2.00	2.07	2.20	2.24	2.28	2.30	2.31	2.30	2.29	2.26	2.23	2.18	2.12	2.05	1.10	0.90	0.85	0.80	0.71	0.71	0.68	0.67	0.65	0.51	0.41	0.29
0.50	0.56	0.70	0.80	0.77	0.75	0.71	0.71	0.70	0.57	1.75	1.80	1.90	2.06	2.07	2.14	2.26	2.30	2.34	2.36	2.36	2.36	2.35	2.32	2.28	2.23	2.17	2.10	1.17	0.93	0.90	0.90	0.85	0.81	0.78	0.75	0.67	0.56	0.42	0.30	
0.53	0.64	0.70	0.81	0.82	0.80	0.72	0.80	0.78	0.57	1.10	1.78	1.81	1.91	2.09	2.08	2.15	2.30	2.34	2.37	2.39	2.40	2.40	2.38	2.36	2.32	2.26	2.20	2.12	1.18	1.05	0.91	0.91	0.90	0.85	0.83	0.79	0.71	0.56	0.50	0.30

Tablo 5.13 4 A için bacadan 8.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0.18	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.04	1.07	1.09	1.10	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10	1.08	1.07	1.04	1.01	1.04	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18		
0.37	0.36	0.34	0.33	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	1.00	1.06	1.11	1.15	1.19	1.23	1.25	1.28	1.29	1.31	1.31	1.31	1.31	1.30	1.28	1.26	1.23	1.20	1.06	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	
0.35	0.34	0.33	0.32	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	1.13	1.20	1.26	1.31	1.35	1.39	1.42	1.45	1.47	1.49	1.49	1.49	1.49	1.48	1.46	1.44	1.41	1.37	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	
0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37	1.25	1.33	1.39	1.45	1.50	1.54	1.58	1.61	1.63	1.65	1.66	1.66	1.65	1.64	1.62	1.60	1.56	1.52	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17	0.18	
0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	1.36	1.44	1.51	1.58	1.63	1.68	1.72	1.75	1.78	1.80	1.81	1.80	1.79	1.77	1.74	1.70	1.66	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.18
0.36	0.37	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	1.46	1.54	1.62	1.69	1.75	1.80	1.84	1.88	1.91	1.93	1.94	1.94	1.93	1.92	1.89	1.86	1.82	1.77	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	
0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.41	0.42	0.42	0.43	0.43	0.43	1.54	1.63	1.71	1.79	1.85	1.91	1.95	1.99	2.02	2.04	2.05	2.05	2.04	2.03	2.02	1.99	1.97	1.93	1.87	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	0.19
0.37	0.38	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	1.61	1.71	1.79	1.87	1.94	2.00	2.05	2.09	2.12	2.14	2.15	2.15	2.14	2.12	2.09	2.06	2.01	1.95	0.40	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	
0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	1.67	1.77	1.86	1.94	2.01	2.07	2.12	2.16	2.20	2.22	2.23	2.23	2.22	2.20	2.17	2.13	2.08	2.02	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.23	0.21	
0.48	0.48	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	1.71	1.79	1.89	2.00	2.07	2.13	2.19	2.23	2.26	2.28	2.29	2.29	2.28	2.26	2.22	2.18	2.13	2.06	0.41	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21
0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	1.74	1.82	1.91	2.04	2.07	2.13	2.23	2.27	2.31	2.33	2.34	2.33	2.32	2.30	2.26	2.22	2.16	2.09	0.48	0.47	0.45	0.43	0.42	0.40	0.38	0.35	0.33	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	
0.46	0.48	0.50	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	1.76	1.83	1.94	2.07	2.11	2.18	2.26	2.31	2.34	2.36	2.37	2.36	2.35	2.32	2.28	2.23	2.17	2.10	0.50	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.36	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.22	
0.52	0.57	0.61	0.66	0.70	0.73	0.77	0.80	0.83	0.85	0.88	1.77	1.85	1.95	2.08	2.11	2.18	2.28	2.32	2.35	2.37	2.38	2.37	2.36	2.33	2.29	2.23	2.17	2.09	0.78	0.75	0.71	0.68	0.63	0.59	0.54	0.49	0.44	0.39	0.33	0.27	0.21	0.15	
0.53	0.58	0.63	0.68	0.72	0.76	0.80	0.84	0.87	0.90	0.92	1.76	1.86	1.97	2.08	2.14	2.21	2.28	2.32	2.35	2.37	2.37	2.37	2.35	2.32	2.27	2.21	2.15	2.07	0.82	0.78	0.74	0.70	0.65	0.61	0.55	0.50	0.44	0.38	0.32	0.25	0.19		
0.54	0.60	0.66	0.71	0.76	0.81	0.86	0.90	0.93	0.97	1.00	1.75	1.88	1.98	2.06	2.14	2.21	2.26	2.30	2.33	2.35	2.35	2.35	2.34	2.32	2.29	2.24	2.18	2.11	2.02	0.92	0.88	0.84	0.79	0.74	0.69	0.63	0.57	0.51	0.44	0.37	0.30		
0.54	0.60	0.67	0.73	0.78	0.84	0.89	0.93	0.97	1.01	1.04	1.71	1.88	1.98	2.03	2.16	2.22	2.23	2.27	2.30	2.31	2.31	2.30	2.28	2.24	2.19	2.13	2.05	1.96	0.97	0.93	0.88	0.84	0.78	0.73	0.67	0.60	0.53	0.46	0.39	0.31			
0.54	0.63	0.71	0.79	0.86	0.93	1.00	1.06	1.11	1.16	1.21	1.67	1.88	1.99	1.99	2.16	2.22	2.18	2.22	2.25	2.26	2.26	2.24	2.22	2.18	2.12	2.05	1.97	1.88	1.15	1.10	1.05	0.99	0.92	0.85	0.78	0.70	0.61	0.52	0.43	0.33			
0.88	0.98	1.07	1.16	1.25	1.33	1.40	1.47	1.53	1.59	1.64																																	
0.92	1.00	1.08	1.16	1.23	1.31	1.38	1.46	1.53	1.60	1.68																																	
0.96	1.02	1.09	1.16	1.23	1.30	1.38	1.46	1.54	1.63	1.71																																	
1.00	1.05	1.10	1.16	1.23	1.30	1.38	1.47	1.56	1.65	1.75																																	
1.03	1.07	1.12	1.18	1.24	1.32	1.40	1.48	1.58	1.68	1.79																																	
1.06	1.10	1.15	1.20	1.27	1.34	1.42	1.51	1.61	1.71	1.82																																	
1.08	1.12	1.17	1.23	1.30	1.38	1.46	1.55	1.64	1.75	1.86																																	
1.09	1.15	1.21	1.27	1.34	1.42	1.50	1.59	1.69	1.79	1.89																																	
1.11	1.17	1.24	1.32	1.39	1.48	1.56	1.65	1.74	1.83	1.93																																	
1.11	1.20	1.29	1.37	1.46	1.54	1.63	1.71	1.79	1.88	1.96																																	
1.11	1.23	1.33	1.43	1.53	1.62	1.70	1.78	1.86	1.93	1.99																																	
1.11	1.25	1.38	1.50	1.61	1.70	1.79	1.86	1.93	1.98	2.02																																	
1.15	1.20	1.25	1.29	1.33	1.36	1.40	1.43	1.46	1.48	1.50	3.64	3.75	3.84	3.92	4.00	4.06	4.11	4.15	4.18	4.20	4.21	4.21	4.20	4.17	4.14	4.10	4.04	3.98	1.32	1.28	1.24	1.19	1.14	1.09	1.03	0.98	0.91	0.85	0.78	0.71			
1.27	1.30	1.33	1.36	1.39	1.41	1.43	1.45	1.47	1.48	1.50	3.59	3.69	3.78	3.86	3.93	3.99	4.04	4.08	4.11	4.13	4.14	4.14	4.12	4.10	4.07	4.03	3.98	3.92	1.27	1.23	1.20	1.16	1.11	1.07	1.02	0.97	0.92	0.86	0.80	0.74			
1.34	1.37	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.51	1.52	1.53	3.53	3.63	3.72	3.79	3.86	3.92	3.97	4.01	4.03	4.05	4.06	4.06	4.05	4.03	4.00	3.96	3.91	3.85	1.28	1.24	1.20	1.17	1.12	1.08	1.03	0.99	0.93	0.88	0.83	0.77			
1.35	1.38	1.40	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52	1.53	1.53	3.47	3.57	3.65	3.73	3.79	3.85	3.90	3.94	3.96	3.98	3.99	3.99	3.98	3.96	3.93	3.89	3.84	3.78	1.29	1.26	1.22	1.18	1.14	1.10	1.05	1.01	0.96	0.90	0.85	0.79			
1.47	1.49	1.50	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.56	1.57	1.57	3.41	3.50	3.59	3.66	3.73	3.78	3.83	3.87	3.89	3.91	3.92	3.92	3.90	3.88	3.85	3.81	3.76	3.70	1.27	1.24	1.20	1.17	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.91	0.86	0.81			
1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.58	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	3.34	3.44	3.52	3.60	3.66	3.72	3.76	3.80	3.83	3.84	3.85	3.84	3.83	3.81	3.77	3.73	3.68	3.61	1.23	1.20	1.18	1.15	1.12	1.09	1.06	1.02	0.99	0.96	0.92	0.89			
1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	3.27	3.37	3.45	3.53	3.60	3.65	3.70	3.73	3.76	3.77	3.78	3.77	3.75	3.73	3.69	3.65	3.59	3.52	1.23	1.20	1.18	1.15	1.12	1.10	1.07	1.04	1.01	0.98	0.95	0.91			
1.80	1.78	1.77	1.75	1.73	1.72	1.70	1.68	1.66	1.64	1.63	3.20	3.30	3.38	3.46	3.53	3.59	3.63	3.67	3.69	3.70	3.71	3.70	3.68	3.65	3.61	3.56	3.50	3.42	1.22	1.19	1.17	1.14	1.12	1.10	1.07	1.04	1.01	0.99	0.96	0.93			
1.77	1.76	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72</																																					

0.19	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.78	0.83	0.88	0.92	0.96	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.07	1.06	1.04	1.02	0.99	0.95	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18
0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26	0.24	0.23	0.22	0.90	0.96	1.02	1.07	1.11	1.15	1.18	1.20	1.22	1.24	1.24	1.24	1.24	1.22	1.21	1.18	1.15	1.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	
0.35	0.33	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.23	0.22	0.21	1.02	1.09	1.15	1.20	1.25	1.29	1.32	1.35	1.37	1.39	1.40	1.40	1.39	1.38	1.36	1.33	1.30	1.26	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.16	
0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	1.12	1.20	1.26	1.32	1.38	1.42	1.46	1.49	1.51	1.53	1.54	1.54	1.53	1.52	1.50	1.47	1.43	1.39	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16		
0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	1.22	1.30	1.37	1.44	1.49	1.54	1.58	1.61	1.64	1.65	1.66	1.66	1.66	1.64	1.62	1.59	1.55	1.51	0.25	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16		
0.36	0.36	0.36	0.36	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	1.31	1.39	1.47	1.54	1.60	1.65	1.69	1.73	1.75	1.77	1.78	1.78	1.77	1.76	1.73	1.70	1.66	1.61	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18		
0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	1.38	1.47	1.55	1.63	1.69	1.74	1.79	1.83	1.85	1.87	1.88	1.88	1.87	1.86	1.83	1.80	1.75	1.70	0.29	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.20		
0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	1.45	1.54	1.63	1.70	1.77	1.83	1.88	1.91	1.94	1.96	1.97	1.97	1.96	1.94	1.92	1.88	1.83	1.78	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.19		
0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	1.51	1.60	1.69	1.77	1.84	1.90	1.95	1.99	2.02	2.04	2.05	2.05	2.04	2.02	1.99	1.95	1.90	1.84	0.31	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22		
0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	1.55	1.66	1.75	1.83	1.90	1.96	2.01	2.05	2.08	2.10	2.11	2.11	2.10	2.08	2.05	1.99	1.90	1.81	0.30	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22			
0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	1.59	1.70	1.79	1.88	1.95	2.01	2.07	2.11	2.14	2.16	2.17	2.16	2.15	2.13	2.09	2.05	1.99	1.92	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30						

Tablo 5.15 4 A için bacadan 10.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

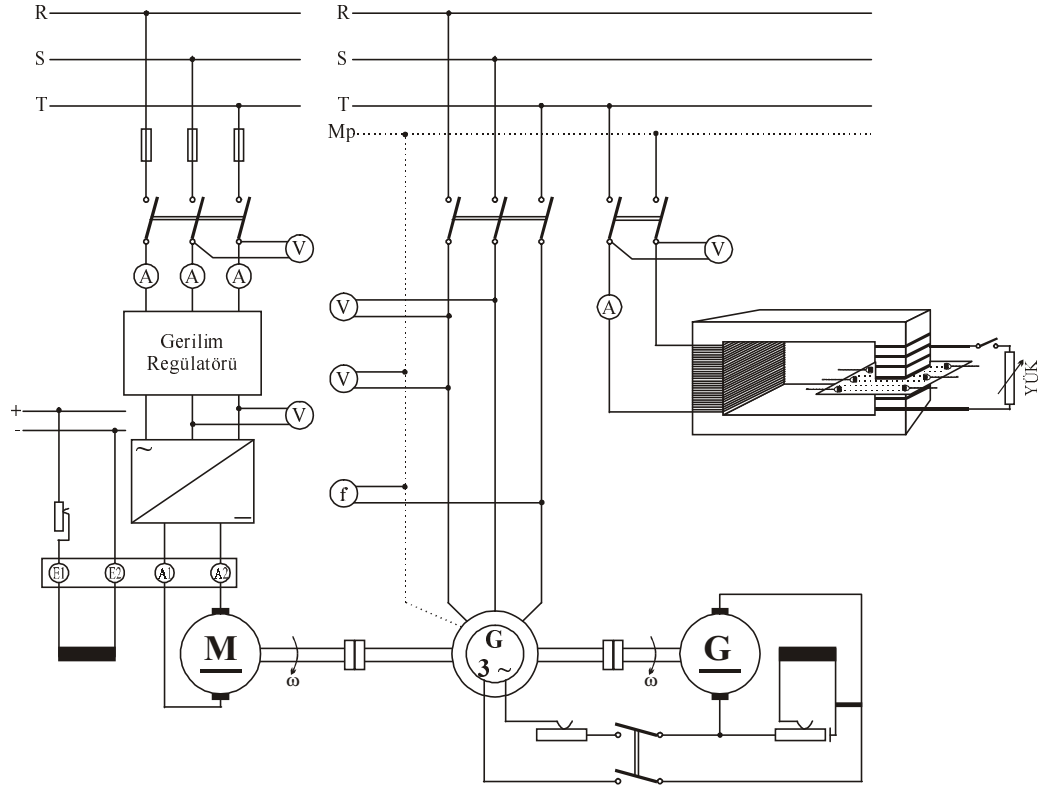
0,22	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,61	0,68	0,74	0,79	0,84	0,87	0,91	0,93	0,95	0,97	0,97	0,98	0,97	0,96	0,94	0,91	0,88	0,84	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17		
0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,74	0,81	0,88	0,93	0,98	1,03	1,06	1,09	1,11	1,12	1,13	1,13	1,12	1,10	1,08	1,05	1,01	0,97	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,87	0,94	1,01	1,07	1,12	1,17	1,20	1,23	1,25	1,27	1,27	1,27	1,26	1,24	1,21	1,18	1,14	1,09	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	
0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,98	1,06	1,13	1,19	1,25	1,29	1,33	1,36	1,38	1,40	1,40	1,40	1,38	1,36	1,33	1,30	1,25	1,20	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	
0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,36	1,08	1,16	1,24	1,31	1,36	1,41	1,45	1,48	1,50	1,52	1,52	1,52	1,50	1,48	1,45	1,40	1,35	1,30	0,26	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	
0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	1,17	1,26	1,34	1,41	1,47	1,52	1,56	1,59	1,61	1,63	1,63	1,62	1,61	1,58	1,55	1,50	1,45	1,39	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16	
0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	1,25	1,34	1,42	1,50	1,56	1,61	1,65	1,69	1,71	1,72	1,73	1,72	1,70	1,67	1,64	1,59	1,53	1,47	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18	
0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	1,32	1,41	1,50	1,57	1,64	1,69	1,74	1,77	1,79	1,81	1,81	1,80	1,78	1,76	1,72	1,67	1,61	1,54	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18		
0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39	1,38	1,47	1,56	1,64	1,71	1,76	1,81	1,84	1,87	1,88	1,88	1,88	1,86	1,83	1,79	1,74	1,67	1,60	0,30	0,29	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	
0,47	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	1,42	1,53	1,62	1,70	1,77	1,82	1,87	1,91	1,93	1,94	1,95	1,94	1,92	1,89	1,85	1,79	1,73	1,65	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,23	
0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,46	1,56	1,66	1,74	1,81	1,87	1,92	1,96	1,98	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,89	1,84	1,77	1,70	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33	0,31	0,30	0,29	0,27	0,26	0,24	0,22	
0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	1,49	1,57	1,68	1,77	1,85	1,91	1,96	1,99	2,02	2,04	2,04	2,03	2,01	1,98	1,93	1,88	1,81	1,73	0,40	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26	0,24	0,22	
0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,70	0,72	0,74	1,50	1,59	1,69	1,77	1,85	1,93	1,98	2,02	2,05	2,06	2,07	2,06	2,04	2,00	1,96	1,90	1,84	1,76	0,63	0,60	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,23	
0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	1,51	1,60	1,70	1,79	1,87	1,95	2,00	2,04	2,06	2,08	2,08	2,07	2,05	2,02	1,98	1,92	1,85	1,77	0,66	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,45	0,41	0,37	0,32	0,27	0,22	
0,51	0,56	0,60	0,64	0,67	0,71	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84	1,50	1,61	1,71	1,80	1,87	1,95	2,00	2,04	2,07	2,08	2,09	2,08	2,06	2,03	1,98	1,93	1,86	1,78	0,74	0,71	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,47	0,42	0,37	0,32	0,26	
0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,80	0,84	0,87	0,90	0,93	1,49	1,62	1,72	1,81	1,88	1,94	1,99	2,03	2,06	2,08	2,08	2,06	2,02	1,98	1,92	1,85	1,77	0,84	0,80	0,76	0,72	0,67	0,62	0,57	0,52	0,46	0,40	0,33	0,27		
0,51	0,59	0,66	0,73	0,79	0,85	0,90	0,95	1,00	1,04	1,07	1,46	1,62	1,72	1,81	1,88	1,92	1,97	2,01	2,04	2,06	2,07	2,06	2,04	2,01	1,96	1,91	1,84	1,76	1,00	0,96	0,91	0,86	0,80	0,74	0,67	0,60	0,53	0,45	0,37	0,29	
0,83	0,89	0,96	1,03	1,09	1,16	1,23	1,30	1,36	1,43	1,50																			1,39	1,31	1,24	1,17	1,10	1,03	0,96	0,90	0,84	0,78	0,73	0,67	
0,86	0,91	0,97	1,03	1,09	1,16	1,23	1,31	1,39	1,48	1,57																				1,45	1,38	1,30	1,23	1,16	1,10	1,03	0,97	0,92	0,86	0,81	0,76
0,88	0,93	0,98	1,03	1,10	1,17	1,25	1,33	1,43	1,53	1,64																				1,51	1,44	1,37	1,30	1,23	1,16	1,10	1,04	0,98	0,93	0,88	0,83
0,91	0,95	0,99	1,05	1,11	1,18	1,27	1,36	1,46	1,57	1,69																				1,58	1,50	1,43	1,36	1,29	1,23	1,16	1,10	1,05	0,99	0,94	0,88
0,93	0,97	1,01	1,07	1,13	1,21	1,30	1,40	1,50	1,62	1,75																				1,64	1,56	1,49	1,42	1,35	1,29	1,22	1,16	1,10	1,04	0,98	0,93
0,95	0,99	1,04	1,10	1,17	1,25	1,34	1,44	1,55	1,66	1,79																				1,69	1,62	1,55	1,48	1,41	1,35	1,28	1,21	1,15	1,09	1,02	0,96
0,97	1,01	1,07	1,14	1,21	1,29	1,38	1,48	1,59	1,71	1,84																				1,75	1,68	1,61	1,54	1,47	1,40	1,33	1,26	1,19	1,12	1,05	0,98
0,98	1,04	1,11	1,18	1,26	1,35	1,44	1,54	1,64	1,75	1,87																				1,80	1,74	1,67	1,60	1,53	1,46	1,38	1,30	1,23	1,15	1,06	0,98
0,99	1,07	1,15	1,23	1,32	1,41	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90																				1,85	1,79	1,73	1,66	1,58	1,51	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	0,97
1,00	1,10	1,20	1,29	1,39	1,48	1,57	1,66	1,75	1,84	1,93																				1,91	1,85	1,78	1,71	1,64	1,56	1,47	1,38	1,28	1,17	1,06	0,95
1,01	1,14	1,25	1,36	1,47	1,56	1,65	1,74	1,81	1,88	1,95																				1,95	1,90	1,84	1,77	1,69	1,60	1,51	1,40	1,29	1,17	1,05	0,91
1,02	1,17	1,31	1,44	1,55	1,65	1,74	1,82	1,88	1,93	1,96																				2,00	1,95	1,89	1,82	1,74	1,65	1,54	1,43	1,30	1,17	1,02	0,86
1,04	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19	1,20	1,21	1,22	3,47	3,56	3,63	3,70	3,76	3,81	3,85	3,89	3,91	3,93	3,94	3,94	3,93	3,92	3,89	3,86	3,81	3,76	1,07	1,05	1,02	0,99	0,96	0,92	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73	0,69	
1,14	1,15	1,16	1,17	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	3,44	3,52	3,59	3,65	3,70	3,75	3,79	3,82	3,85	3,86	3,87	3,87	3,87	3,85	3,83	3,81	3,77	3,73	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	
1,21	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	3,40	3,47	3,54	3,59	3,65	3,69	3,73	3,76	3,78	3,80	3,81	3,81	3,80	3,79	3,78	3,75	3,72	3,68	1,00	0,98	0,96	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,79	0,77	0,74	
1,23	1,23	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,23	1,22	3,36	3,42	3,48	3,54	3,59	3,63	3,66	3,69	3,72	3,73	3,74	3,74	3,74	3,73	3,71	3,69	3,66	3,63	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,82	0,80	0,77	
1,34	1,34	1,33	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	3,30	3,37	3,43	3,48	3,53	3,57	3,60	3,63	3,65	3,67	3,68	3,68	3,68	3,67	3,65	3,63	3,60	3,57	0,98	0,97	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,81	0,79	
1,46	1,43	1,40	1,37	1,34	1,32	1,29	1,27	1,25	1,22	1,20	3,25	3,31	3,37	3,42	3,47	3,51	3,54	3,57	3,59	3,61	3,61	3,62	3,61	3,60	3,59	3,56	3,53	3,50	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	
1,50	1,47	1,43	1,40	1,37	1,34	1,31	1,28	1,26	1,23	1,20	3,18	3,25	3,31	3,36	3,41	3,45	3,48	3,51	3,53	3,55	3,55	3,55	3,55	3,54	3,52	3,49	3,46	3													

Tablo 5.16 4 A için bacadan 11.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri

0.29	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.41	0.49	0.56	0.62	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.81	0.81	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.65	0.60	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15													
0.37	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.52	0.61	0.69	0.75	0.81	0.86	0.90	0.93	0.95	0.96	0.96	0.96	0.94	0.91	0.87	0.83	0.77	0.70	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15													
0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.62	0.72	0.81	0.88	0.95	1.00	1.04	1.07	1.10	1.11	1.11	1.09	1.07	1.04	1.00	0.94	0.88	0.80	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15													
0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.72	0.82	0.92	1.00	1.07	1.12	1.17	1.20	1.22	1.23	1.23	1.22	1.20	1.16	1.11	1.05	0.98	0.89	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15												
0.39	0.40	0.41	0.42	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.45	0.46	0.81	0.92	1.02	1.10	1.17	1.23	1.28	1.32	1.34	1.35	1.35	1.33	1.31	1.26	1.21	1.15	1.07	0.98	0.36	0.34	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15												
0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46	0.47	0.48	0.48	0.49	0.88	1.00	1.10	1.19	1.27	1.33	1.38	1.42	1.44	1.45	1.45	1.43	1.40	1.36	1.30	1.23	1.15	1.05	0.38	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15												
0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.96	1.08	1.18	1.28	1.35	1.42	1.47	1.51	1.53	1.54	1.54	1.52	1.49	1.44	1.38	1.31	1.22	1.12	0.39	0.37	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.18	0.15												
0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.50	1.02	1.14	1.25	1.35	1.43	1.49	1.55	1.58	1.61	1.62	1.61	1.59	1.56	1.52	1.45	1.38	1.29	1.19	0.40	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.18	0.15												
0.44	0.45	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	1.07	1.20	1.31	1.40	1.49	1.55	1.61	1.65	1.67	1.68	1.68	1.66	1.62	1.58	1.51	1.44	1.35	1.24	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.20	0.15												
0.48	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	1.12	1.25	1.36	1.45	1.53	1.59	1.66	1.69	1.72	1.73	1.72	1.71	1.67	1.62	1.56	1.49	1.39	1.29	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20	0.15											
0.49	0.50	0.52	0.53	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	1.16	1.28	1.39	1.49	1.57	1.60	1.69	1.73	1.75	1.76	1.76	1.74	1.71	1.66	1.60	1.53	1.44	1.33	0.45	0.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.35	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.20	0.15											
0.44	0.46	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	1.19	1.31	1.42	1.51	1.60	1.63	1.71	1.75	1.78	1.79	1.78	1.77	1.73	1.69	1.63	1.55	1.47	1.36	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.28	0.25	0.23	0.20	0.15											
0.50	0.53	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.70	0.71	1.21	1.31	1.44	1.53	1.61	1.64	1.72	1.76	1.79	1.80	1.79	1.78	1.75	1.70	1.65	1.57	1.49	1.39	0.61	0.58	0.56	0.53	0.50	0.47	0.43	0.40	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.15											
0.50	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.73	0.75	1.23	1.33	1.44	1.53	1.61	1.66	1.72	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.75	1.71	1.65	1.59	1.51	1.41	0.65	0.62	0.59	0.56	0.53	0.50	0.46	0.42	0.38	0.34	0.29	0.25	0.20	0.15											
0.51	0.55	0.58	0.62	0.65	0.68	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	1.23	1.33	1.44	1.52	1.60	1.66	1.70	1.74	1.76	1.77	1.77	1.76	1.74	1.70	1.65	1.59	1.51	1.43	0.70	0.67	0.64	0.61	0.57	0.54	0.50	0.46	0.41	0.37	0.32	0.27	0.20	0.15											
0.52	0.57	0.62	0.67	0.71	0.75	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	1.23	1.34	1.42	1.50	1.57	1.67	1.67	1.71	1.73	1.74	1.74	1.73	1.71	1.68	1.63	1.58	1.51	1.43	0.82	0.78	0.75	0.71	0.66	0.62	0.57	0.51	0.46	0.40	0.34	0.27	0.20	0.15											
0.52	0.59	0.65	0.71	0.77	0.83	0.87	0.92	0.96	1.00	1.03	1.22	1.34	1.40	1.47	1.54	1.67	1.63	1.67	1.69	1.70	1.70	1.69	1.68	1.65	1.61	1.56	1.50	1.43	0.96	0.92	0.87	0.82	0.77	0.71	0.65	0.59	0.52	0.45	0.37	0.29	0.20	0.15											
0.73	0.78	0.83	0.88	0.94	1.00	1.07	1.13	1.20	1.27	1.34																			1.30	1.22	1.14	1.06	0.99	0.91	0.84	0.78	0.71	0.65	0.59	0.53	0.45	0.37	0.29										
0.74	0.78	0.83	0.88	0.94	1.00	1.07	1.14	1.23	1.31	1.40																			1.37	1.28	1.20	1.12	1.04	0.97	0.90	0.83	0.77	0.71	0.65	0.60	0.53	0.45	0.37	0.29									
0.76	0.79	0.83	0.88	0.94	1.01	1.08	1.16	1.25	1.35	1.46																			1.44	1.35	1.26	1.18	1.10	1.02	0.95	0.88	0.82	0.76	0.71	0.66	0.60	0.53	0.45	0.37	0.29								
0.77	0.80	0.84	0.89	0.95	1.02	1.10	1.19	1.29	1.39	1.51																			1.50	1.41	1.32	1.23	1.15	1.08	1.00	0.93	0.87	0.81	0.75	0.70	0.63	0.55	0.47	0.39	0.31	0.23	0.15						
0.79	0.82	0.86	0.91	0.98	1.05	1.13	1.22	1.32	1.44	1.56																			1.56	1.47	1.38	1.29	1.21	1.13	1.06	0.98	0.92	0.85	0.79	0.73	0.66	0.58	0.51	0.43	0.35	0.27	0.19	0.11					
0.80	0.84	0.89	0.94	1.01	1.08	1.17	1.26	1.37	1.48	1.60																			1.62	1.53	1.44	1.35	1.27	1.18	1.11	1.03	0.96	0.89	0.82	0.75	0.68	0.61	0.54	0.47	0.39	0.31	0.23	0.15					
0.82	0.86	0.92	0.98	1.05	1.13	1.21	1.31	1.41	1.52	1.65																			1.67	1.58	1.49	1.41	1.32	1.24	1.16	1.08	1.00	0.92	0.84	0.77	0.70	0.62	0.54	0.46	0.38	0.30	0.22	0.14					
0.83	0.89	0.95	1.02	1.10	1.18	1.27	1.36	1.46	1.57	1.68																			1.72	1.64	1.55	1.47	1.38	1.29	1.21	1.12	1.03	0.94	0.85	0.77	0.69	0.60	0.51	0.42	0.33	0.24	0.15						
0.85	0.92	0.99	1.07	1.15	1.24	1.33	1.42	1.52	1.62	1.72																			1.77	1.69	1.61	1.52	1.44	1.35	1.25	1.16	1.06	0.96	0.86	0.75	0.65	0.55	0.45	0.35	0.25	0.15							
0.86	0.95	1.04	1.13	1.22	1.31	1.40	1.49	1.58	1.66	1.75																			1.82	1.74	1.67	1.58	1.49	1.40	1.30	1.20	1.09	0.98	0.86	0.73	0.61	0.49	0.37	0.25	0.13	0.01							
0.87	0.99	1.10	1.20	1.30	1.39	1.48	1.56	1.64	1.71	1.78																			1.86	1.79	1.72	1.64	1.55	1.45	1.35	1.24	1.11	0.98	0.85	0.70	0.54	0.38	0.22	0.06	0.00								
0.89	1.03	1.16	1.28	1.39	1.48	1.57	1.64	1.71	1.76	1.80																			1.90	1.84	1.78	1.70	1.61	1.51	1.40	1.27	1.13	0.99	0.83	0.65	0.47	0.30	0.12	0.00	0.00								
0.91	0.95	0.99	1.03	1.07	1.10	1.14	1.16	1.19	1.21	1.24	3.30	3.35	3.40	3.45	3.49	3.52	3.55	3.57	3.59	3.61	3.61	3.62	3.62	3.61	3.60	3.58	3.56	3.54	1.14	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.91	0.87	0.82	0.76	0.71	0.65	0.59	0.53	0.47	0.41	0.35	0.29	0.23	0.17	0.11	0.05			
0.98	1.02	1.05	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.19	1.20	1.22	3.25	3.28	3.30	3.33	3.35	3.38	3.40	3.41	3.43	3.45	3.46	3.47	3.48	3.49	3.49	3.50	3.50	3.50	1.08	1.06	1.03	0.99	0.96	0.93	0.89	0.85	0.81	0.76	0.71	0.67	0.62	0.57	0.52	0.47	0.42	0.37	0.32	0.27	0.22	0.17	0.12	0.07	
1.04	1.07	1.09	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.21	1.23	1.24	3.19	3.20	3.21	3.22	3.24	3.25	3.26	3.28	3.29	3.31	3.32	3.34	3.36	3.37	3.39	3.41	3.43	3.45	1.09	1.07	1.04	1.01	0.97	0.94	0.90	0.86	0.82	0.78	0.74	0.69	0.64	0.59	0.54	0.49	0.44	0.39	0.34	0.29	0.24	0.19	0.14	0.09	0.04
1.07	1.09	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.22	1.23	1.24	1.25	3.13	3.13	3.13	3.13	3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.19	3.20	3.22	3.25	3.27	3.30	3.32																											

Tablo 5.17 4 A için bacadan 12.5 cm yüksekliğindeki potansiyel ölçüm değerleri.

0,40	0,36	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52	0,54	0,58	0,25	0,32	0,38	0,44	0,48	0,52	0,55	0,57	0,58	0,58	0,58	0,56	0,54	0,50	0,46	0,41	0,35	0,28	0,53	0,44	0,41	0,38	0,38	0,34	0,32	0,31	0,30	0,19	0,13	0,13	
0,33	0,38	0,47	0,48	0,48	0,51	0,52	0,53	0,55	0,55	0,59	0,34	0,43	0,50	0,56	0,62	0,66	0,69	0,72	0,73	0,74	0,73	0,72	0,69	0,66	0,61	0,56	0,49	0,42	0,55	0,52	0,50	0,48	0,42	0,40	0,35	0,32	0,32	0,22	0,14	0,13	
0,38	0,43	0,47	0,52	0,52	0,52	0,52	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,43	0,52	0,61	0,68	0,73	0,78	0,82	0,85	0,87	0,87	0,87	0,86	0,83	0,80	0,75	0,69	0,63	0,55	0,62	0,54	0,52	0,52	0,48	0,41	0,38	0,34	0,33	0,28	0,17	0,16
0,41	0,45	0,48	0,54	0,54	0,58	0,60	0,65	0,66	0,69	0,72	0,52	0,61	0,70	0,78	0,84	0,90	0,94	0,97	0,99	1,00	1,00	0,98	0,96	0,92	0,88	0,82	0,75	0,67	0,64	0,60	0,54	0,53	0,50	0,43	0,38	0,36	0,35	0,31	0,19	0,18	
0,42	0,47	0,49	0,54	0,57	0,59	0,63	0,68	0,70	0,71	0,79	0,59	0,69	0,79	0,87	0,94	1,00	1,04	1,08	1,10	1,11	1,11	1,10	1,07	1,04	0,99	0,93	0,86	0,77	0,67	0,64	0,61	0,54	0,54	0,49	0,43	0,40	0,38	0,35	0,19	0,19	
0,46	0,49	0,50	0,57	0,59	0,65	0,66	0,70	0,73	0,78	0,82	0,66	0,77	0,86	0,95	1,02	1,09	1,13	1,17	1,20	1,21	1,21	1,20	1,17	1,13	1,09	1,02	0,95	0,87	0,69	0,64	0,63	0,61	0,57	0,53	0,44	0,41	0,40	0,36	0,19	0,19	
0,47	0,50	0,51	0,60	0,64	0,67	0,69	0,73	0,76	0,81	0,83	0,71	0,83	0,93	1,02	1,10	1,16	1,21	1,25	1,28	1,29	1,29	1,28	1,26	1,22	1,17	1,11	1,03	0,95	0,69	0,68	0,65	0,62	0,57	0,54	0,53	0,49	0,44	0,37	0,21	0,20	
0,48	0,50	0,52	0,60	0,64	0,67	0,71	0,75	0,77	0,81	0,85	0,76	0,88	0,99	1,08	1,16	1,23	1,28	1,32	1,35	1,36	1,36	1,35	1,33	1,29	1,24	1,18	1,10	1,01	0,70	0,69	0,66	0,63	0,59	0,56	0,56	0,51	0,44	0,38	0,23	0,20	
0,50	0,50	0,54	0,61	0,66	0,67	0,74	0,77	0,80	0,82	0,88	0,80	0,92	1,03	1,13	1,21	1,28	1,33	1,37	1,40	1,42	1,42	1,41	1,39	1,35	1,30	1,24	1,16	1,07	0,81	0,69	0,68	0,66	0,63	0,58	0,57	0,53	0,45	0,38	0,26	0,22	
0,50	0,51	0,55	0,63	0,67	0,70	0,75	0,79	0,81	0,83	0,88	0,84	0,94	1,04	1,16	1,25	1,32	1,37	1,41	1,44	1,46	1,46	1,45	1,43	1,39	1,34	1,28	1,20	1,11	0,83	0,76	0,76	0,68	0,64	0,62	0,58	0,54	0,47	0,40	0,26	0,25	
0,50	0,51	0,57	0,63	0,67	0,71	0,77	0,81	0,83	0,84	0,91	0,84	0,96	1,07	1,19	1,27	1,34	1,40	1,44	1,47	1,49	1,49	1,48	1,46	1,42	1,37	1,31	1,23	1,14	0,89	0,79	0,79	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	0,50	0,40	0,30	0,25	
0,50	0,51	0,58	0,63	0,70	0,74	0,80	0,83	0,89	0,89	0,93	0,86	0,97	1,07	1,21	1,29	1,36	1,41	1,46	1,49	1,50	1,51	1,50	1,47	1,44	1,39	1,33	1,25	1,16	0,91	0,80	0,79	0,73	0,70	0,65	0,62	0,57	0,50	0,40	0,30	0,25	
0,50	0,54	0,60	0,65	0,72	0,75	0,81	0,87	0,90	0,91	0,93	0,86	0,98	1,09	1,21	1,29	1,36	1,42	1,46	1,49	1,50	1,51	1,50	1,48	1,44	1,39	1,33	1,26	1,17	0,92	0,83	0,81	0,75	0,71	0,66	0,62	0,58	0,50	0,41	0,30	0,26	
0,50	0,55	0,61	0,65	0,74	0,79	0,84	0,88	0,90	0,93	1,13	0,88	0,99	1,10	1,20	1,28	1,35	1,40	1,45	1,48	1,49	1,49	1,49	1,46	1,43	1,38	1,32	1,25	1,16	0,93	0,85	0,82	0,77	0,72	0,71	0,63	0,61	0,50	0,43	0,31	0,30	
0,51	0,58	0,62	0,65	0,75	0,80	0,86	0,90	0,91	0,98	1,17	0,88	1,00	1,11	1,19	1,26	1,33	1,38	1,42	1,45	1,46	1,47	1,46	1,44	1,40	1,36	1,30	1,23	1,14	1,01	0,87	0,83	0,82	0,73	0,71	0,64	0,61	0,51	0,45	0,32	0,30	
0,53	0,59	0,62	0,66	0,76	0,80	0,87	0,91	1,00	1,00	1,20	0,89	1,01	1,11	1,16	1,23	1,29	1,34	1,38	1,41	1,42	1,43	1,42	1,40	1,36	1,32	1,26	1,19	1,11	1,07	0,88	0,85	0,84	0,73	0,71	0,66	0,62	0,53	0,48	0,33	0,30	
0,54	0,60	0,63	0,67	0,77	0,83	0,88	0,99	1,02	1,09	1,26	0,89	1,01	1,12	1,12	1,19	1,25	1,30	1,33	1,36	1,37	1,37	1,36	1,34	1,31	1,27	1,21	1,15	1,07	1,12	0,90	0,86	0,85	0,76	0,72	0,69	0,64	0,55	0,50	0,35	0,31	
0,62	0,65	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,96	1,03	1,11	1,19																				1,18	1,08	0,99	0,90	0,81	0,73	0,65	0,58	0,51	0,44	0,38	0,32
0,63	0,66	0,69	0,73	0,77	0,83	0,89	0,95	1,03	1,11	1,20																				1,27	1,14	1,02	0,91	0,82	0,73	0,64	0,57	0,51	0,45	0,41	0,37
0,65	0,67	0,69	0,73	0,77	0,82	0,88	0,95	1,03	1,12	1,21																				1,34	1,19	1,06	0,94	0,83	0,73	0,64	0,57	0,52	0,47	0,44	0,42
0,66	0,68	0,70	0,74	0,78	0,83	0,89	0,96	1,04	1,13	1,23																				1,41	1,24	1,09	0,96	0,84	0,74	0,65	0,58	0,53	0,49	0,46	0,46
0,67	0,69	0,71	0,75	0,79	0,85	0,91	0,98	1,06	1,15	1,25																				1,46	1,29	1,13	0,99	0,87	0,76	0,67	0,60	0,55	0,51	0,49	0,49
0,68	0,70	0,73	0,77	0,82	0,87	0,94	1,01	1,09	1,18	1,28																				1,50	1,32	1,16	1,02	0,90	0,79	0,70	0,63	0,57	0,53	0,51	0,51
0,69	0,72	0,75	0,80	0,85	0,91	0,98	1,05	1,13	1,22	1,32																				1,53	1,36	1,20	1,06	0,94	0,83	0,74	0,66	0,60	0,56	0,53	0,52
0,70	0,74	0,78	0,83	0,89	0,96	1,03	1,10	1,18	1,27	1,36																				1,55	1,39	1,24	1,10	0,98	0,87	0,78	0,70	0,63	0,58	0,55	0,52
0,70	0,76	0,81	0,88	0,94	1,01	1,08	1,16	1,24	1,32	1,41																				1,56	1,41	1,27	1,15	1,03	0,93	0,83	0,75	0,68	0,61	0,56	0,52
0,71	0,78	0,85	0,93	1,00	1,08	1,15	1,23	1,31	1,39	1,47																				1,55	1,43	1,31	1,20	1,09	0,99	0,89	0,80	0,72	0,64	0,57	0,51
0,71	0,80	0,89	0,98	1,07	1,15	1,23	1,31	1,38	1,46	1,53																				1,54	1,44	1,35	1,25	1,15	1,06	0,96	0,87	0,77	0,68	0,58	0,49
0,71	0,83	0,94	1,05	1,14	1,24	1,32	1,40	1,47	1,54	1,59																				1,51	1,45	1,38	1,31	1,23	1,14	1,04	0,94	0,83	0,71	0,59	0,46
0,72	0,73	0,79	0,86	1,00	1,07	1,16	1,24	1,38	1,43	1,63	2,99	3,03	3,06	3,09	3,11	3,14	3,16	3,17	3,19	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,19	3,18	3,17	3,15	1,91	1,35	1,21	1,16	1,04	0,92	0,84	0,79	0,72	0,68	0,63	0,60	
0,76	0,77	0,80	0,89	1,00	1,08	1,21	1,24	1,40	1,58	1,70	2,90	2,94	2,98	3,01	3,04	3,07	3,09	3,12	3,13	3,15	3,16	3,17	3,17	3,18	3,18	3,17	3,16	3,15	1,95	1,36	1,28	1,16	1,10	1,02	0,86	0,84	0,74	0,71	0,67	0,60	
0,79	0,80	0,82	0,90	1,01	1,16	1,22	1,26	1,40	1,58	1,70	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,01	3,04	3,06	3,08	3,10	3,12	3,13	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,13	1,98	1,40	1,34	1,20	1,12	1,03	0,91	0,85	0,75	0,72	0,71	0,62	
0,83	0,91	0,91	0,92	1,05	1,17	1,22	1,27	1,44	1,58	1,74	2,74	2,79	2,83	2,88	2,91	2,95	2,98	3,01	3,03	3,05	3,07	3,08	3,09	3,10	3,10	3,10	3,10	3,09	2,10	1,45	1,34	1,28	1,14	1,08	0,98	0,85	0,79	0,73	0,71	0,65	
0,88	0,95	0,96	0,99	1,16	1,17	1,22	1,35	1,45	1,69	1,80	2,66	2,72	2,77	2,81	2,85	2,89	2,93	2,95	2,98	3,00	3,02	3,03	3,04	3,04	3,04	3,04	3,03	3,02	2,11	1,60	1,38	1,33	1,14	1,10	0,98	0,91	0,83	0,74	0,74	0,70	
0,95	0,97	1,03	1,03	1,18	1,18	1,25	1,35	1,48	1,71	1,82	2,59	2,65	2,71	2,76	2,80	2,84	2,87	2,90	2,93	2,95	2,96	2,97	2,98	2,98	2,97	2,96	2,95	2,93	2,48	1,65	1,40	1,37	1,18	1,11	0,99	0,96	0,85	0,75	0,74	0,71	
0,97	1,02	1,13	1,15	1,18	1,19	1,32	1,38	1,50	1,77	1,82	2,53	2,59	2,65	2,70	2,75	2,79	2,82	2,85	2,88	2,89	2,91	2,91	2,91	2,90																	



Şekil 5.1. Deney bağlantı şeması

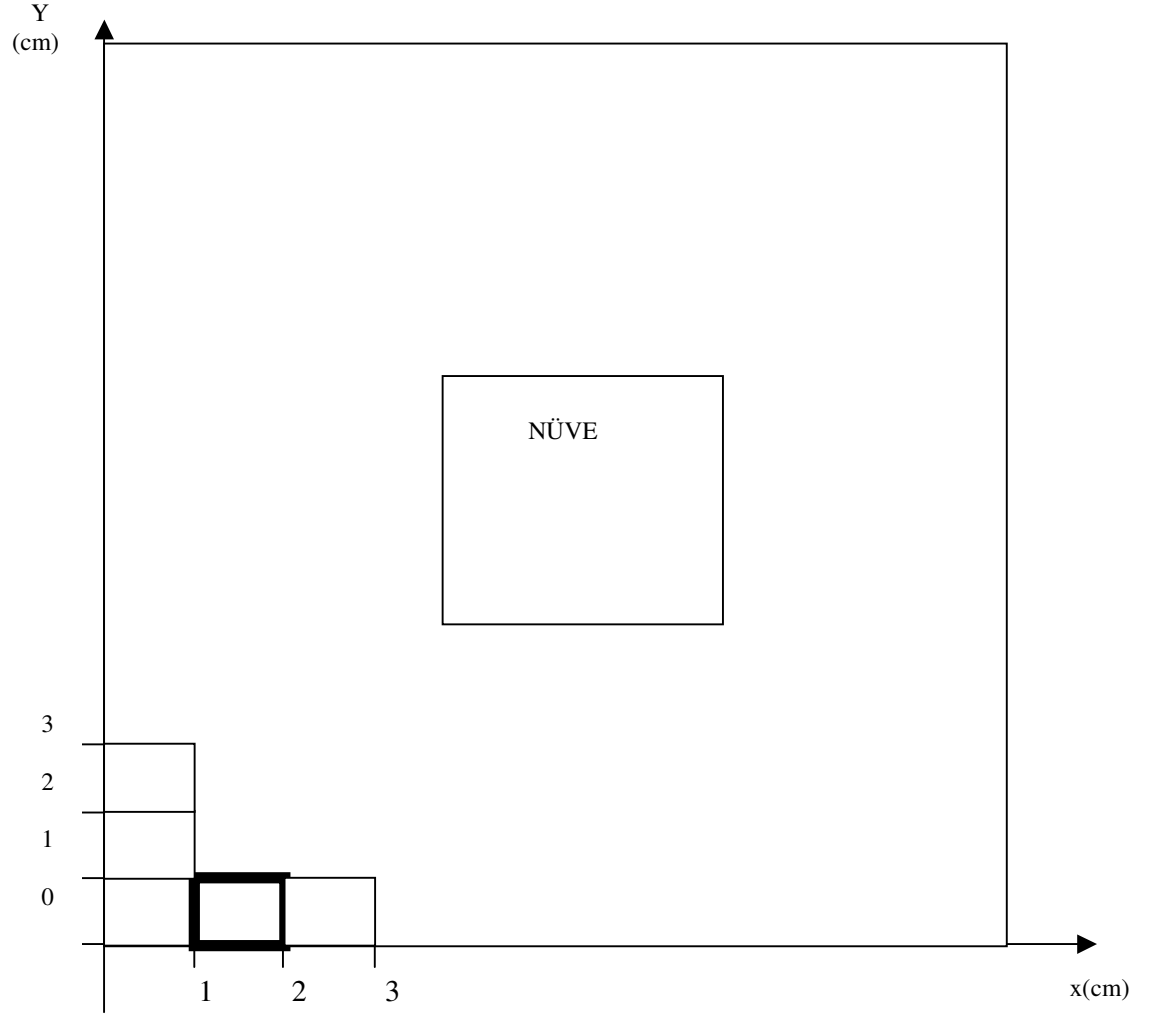
BÖLÜM VI

Model Transformatörün Kaçak Akı Dağılımının Sayısal Yöntemlerle Bulunması

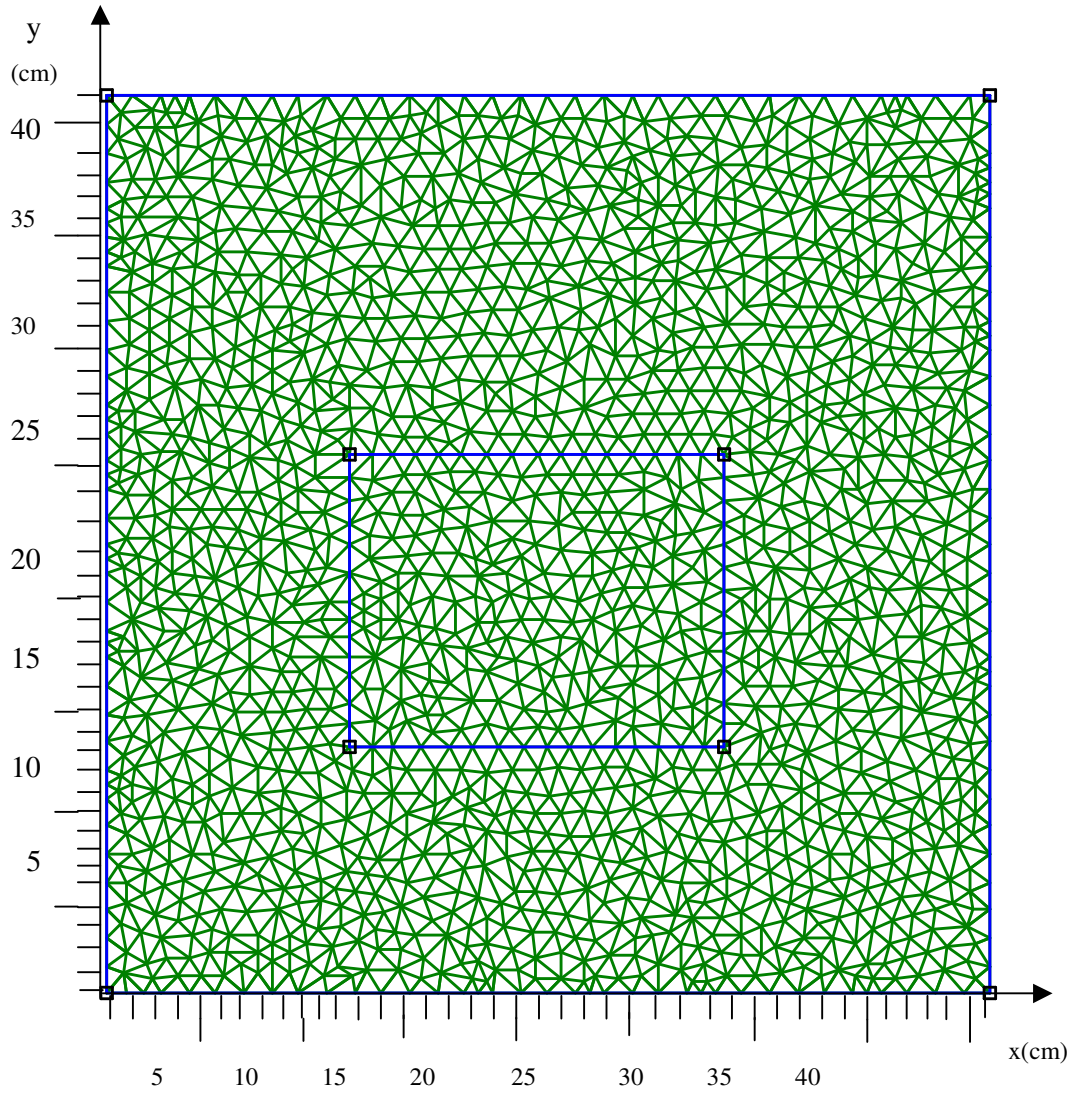
VI.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Uygulanması

VI.1.1. Bacaktan 5,5 cm yükseklikteki yüzey için yapılan hesaplama

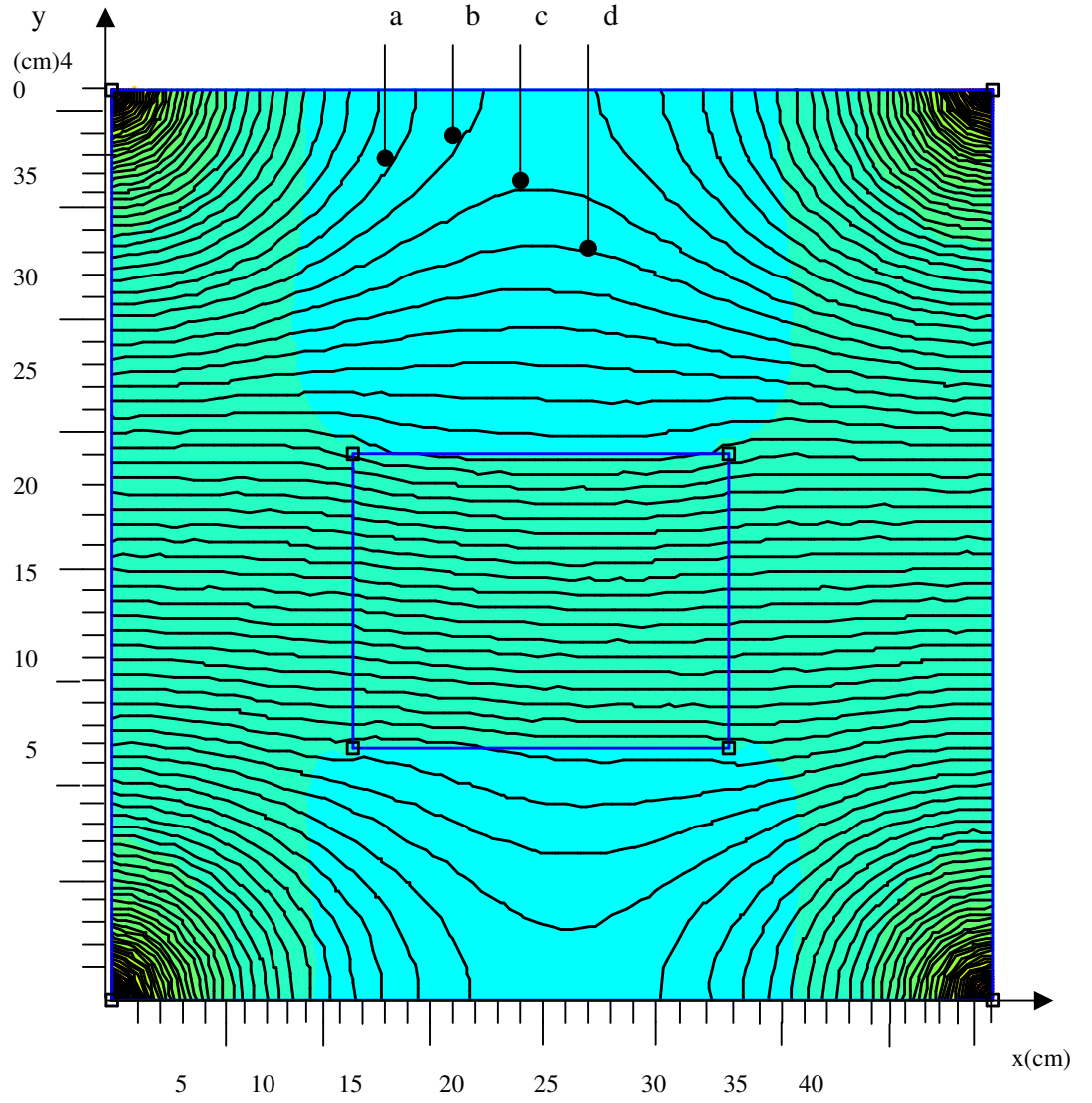
Deney transformatörünün sekonder bacağındaki yüzeysel akı dağılımı sekiz farklı yükseklik için (5,5 cm; 6,5 cm; 7,5 cm; 8,5 cm; 9,5 cm; 10,5 cm; 11,5 cm; 12,5 cm) sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programı yardımıyla çizilmiştir. Şekil 6.1’de bir ölçü bobininin karton üzerindeki konumu görülmektedir. Önce bu program yardımıyla akı dağılımı yapılacak olan yüzey Şekil 6.2’deki gibi 3232 üçgen sonlu elemana bölünmüş ve yine bu program yardımıyla elde edilen yüzeysel akı dağılımı Şekil 6.3-Şekil 6.10’da verilmiştir. Bu yüzeysel akı dağılımlarından faydalanarak deney transformatörümüzün sekonder bacağında oluşan kaçak akı dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 6.1 Bir ölçü bobininin karton üzerinde yerleşimi.

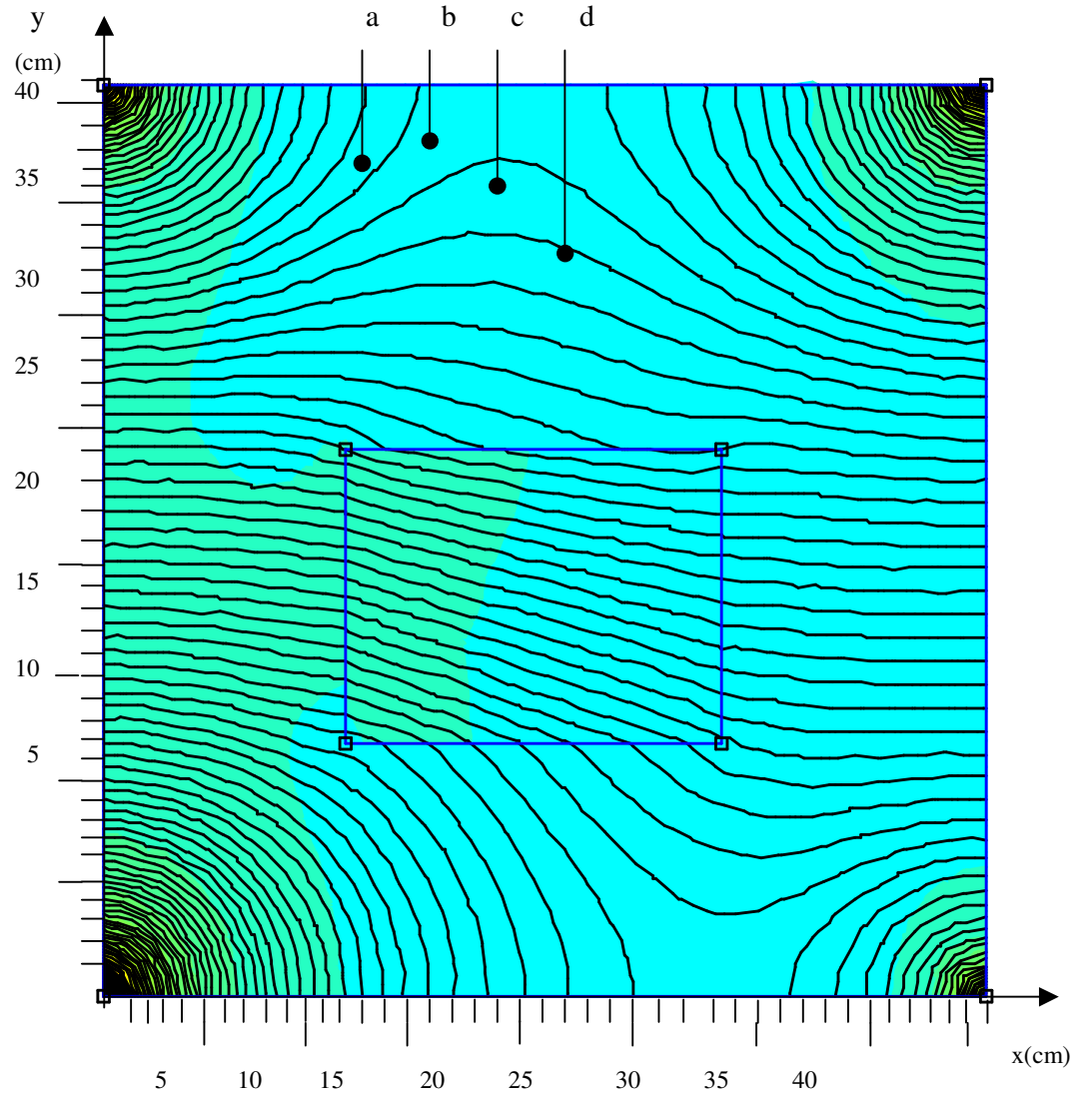


Şekil 6.2 Bilgisayar programı kullanılarak 3232 üçgen sonlu elemana bölünmüş yüzeyin durumu.



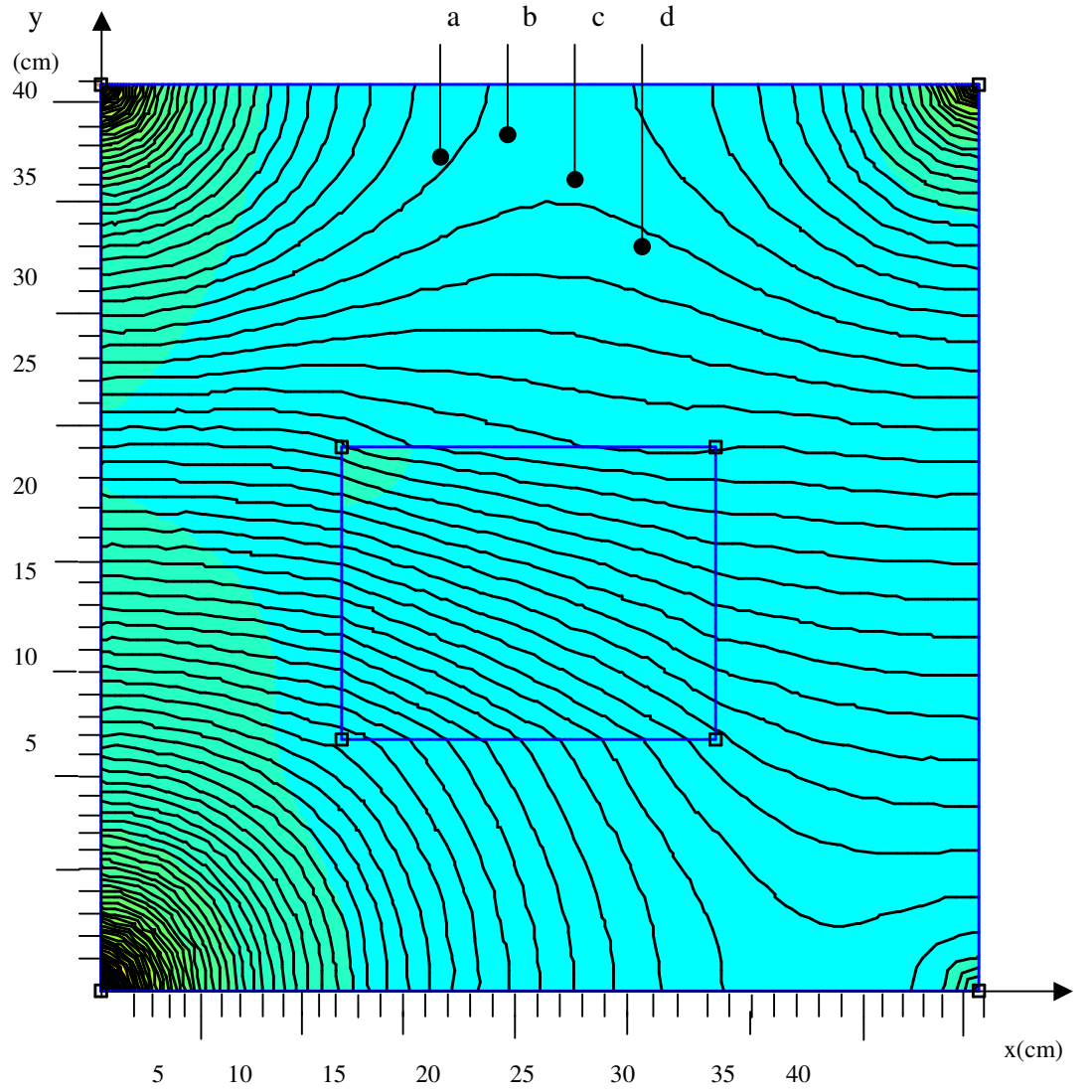
Şekil 6.3 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 5.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,2773
b	(15 ; 36,5)	0,28
c	(20 ; 36,5)	0,2826
d	(20 ; 34,2)	0,2851



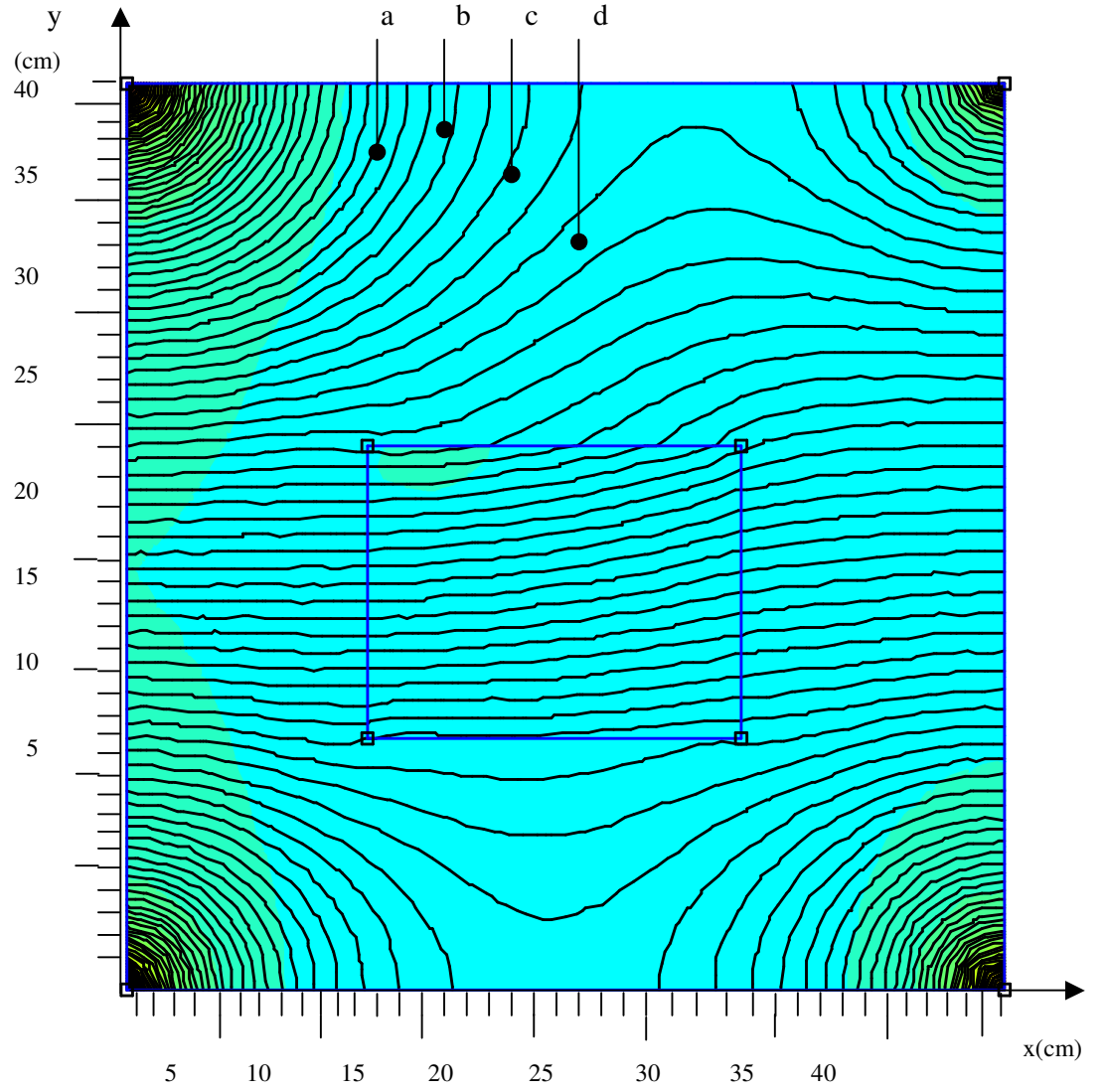
Şekil 6.4 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 6.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,3516
b	(15 ; 36,5)	0,3556
c	(20 ; 36,5)	0,3578
d	(20 ; 34,2)	0,3613



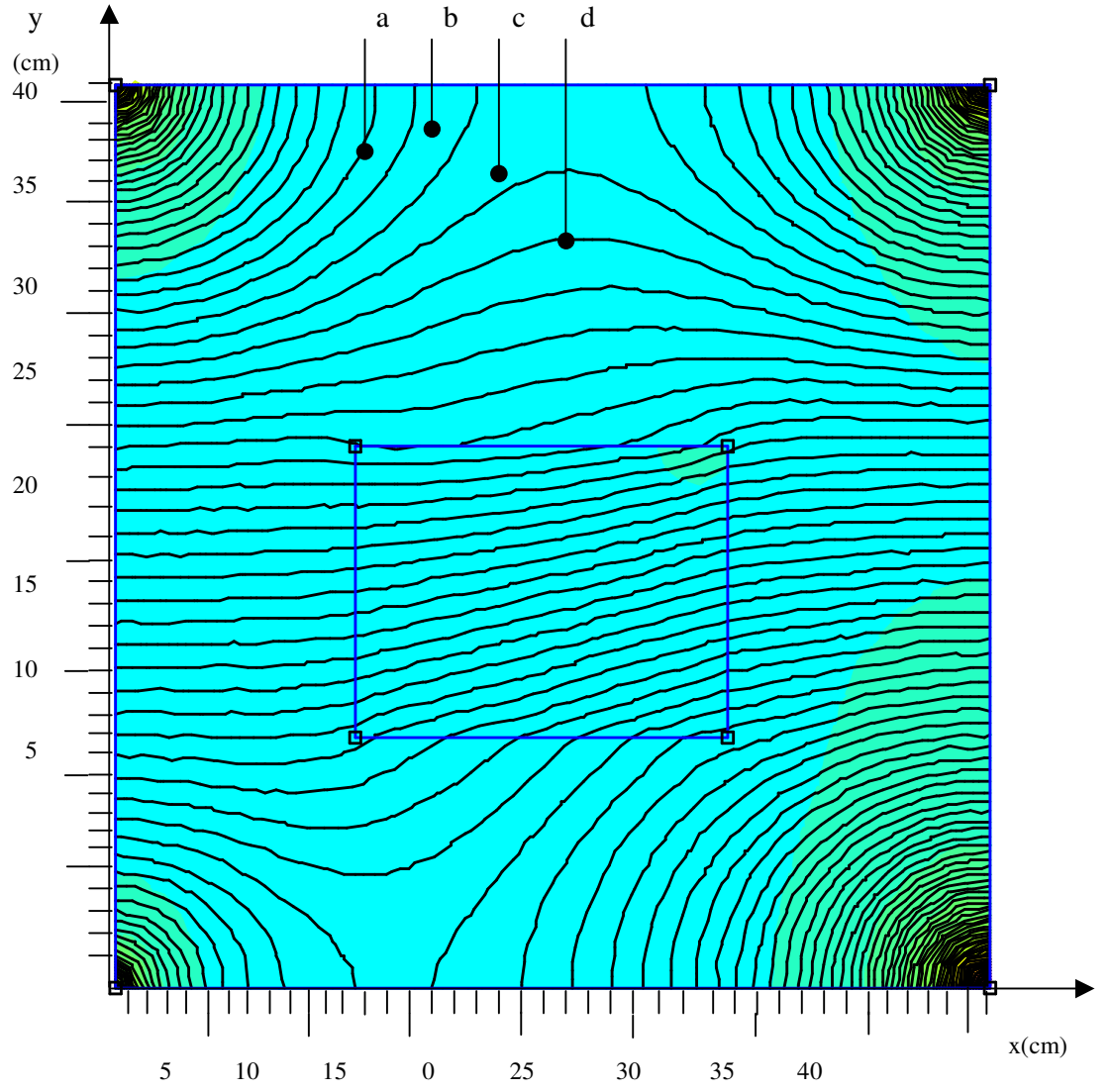
Şekil 6.5 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 7.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,4914
b	(15 ; 36,5)	0,4976
c	(20 ; 36,5)	0,505
d	(20 ; 34,2)	0,5097



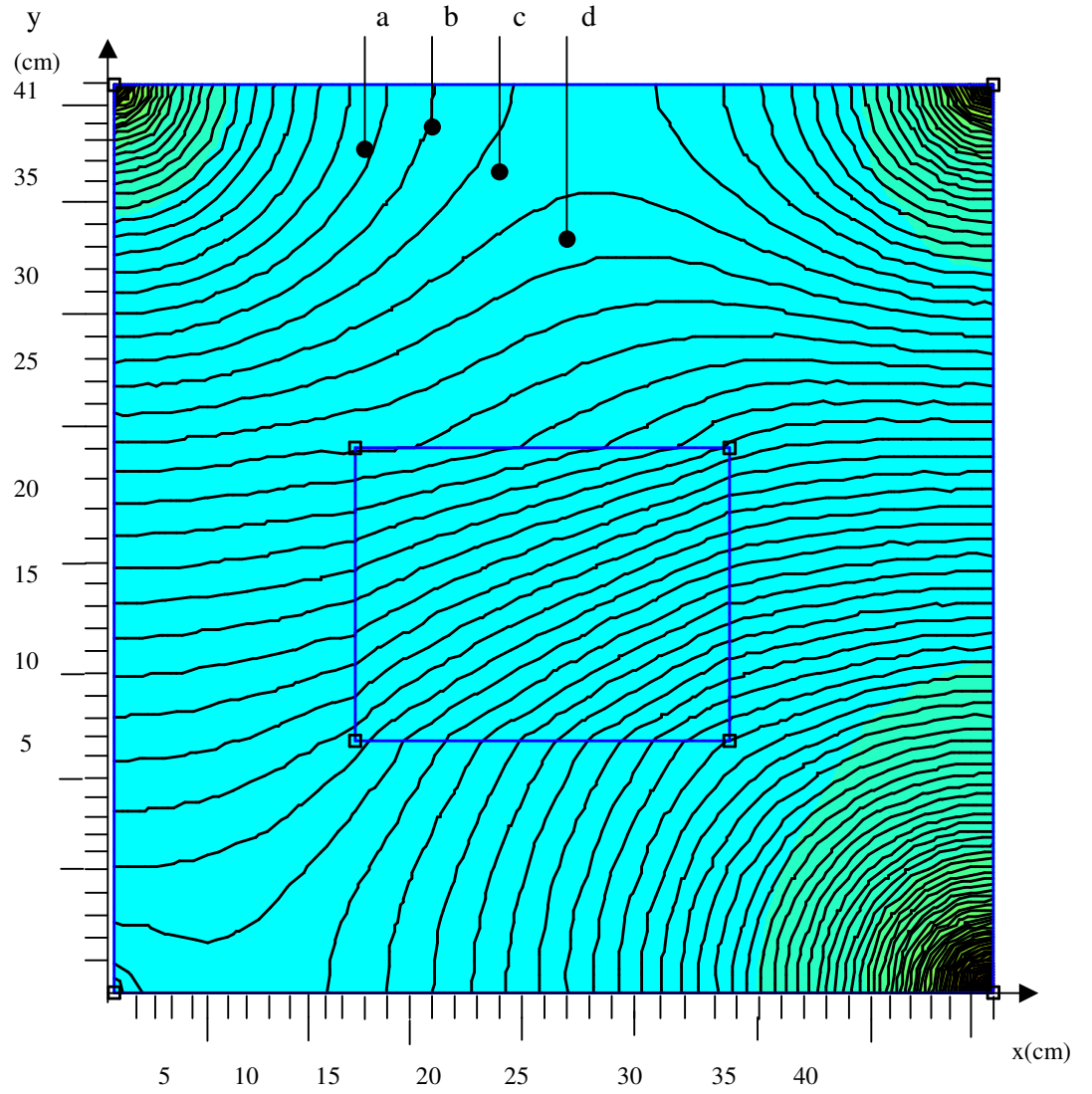
Şekil 6.6 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 8.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,3679
b	(15 ; 36,5)	0,3724
c	(20 ; 36,5)	0,3816
d	(20 ; 34,2)	0,3841



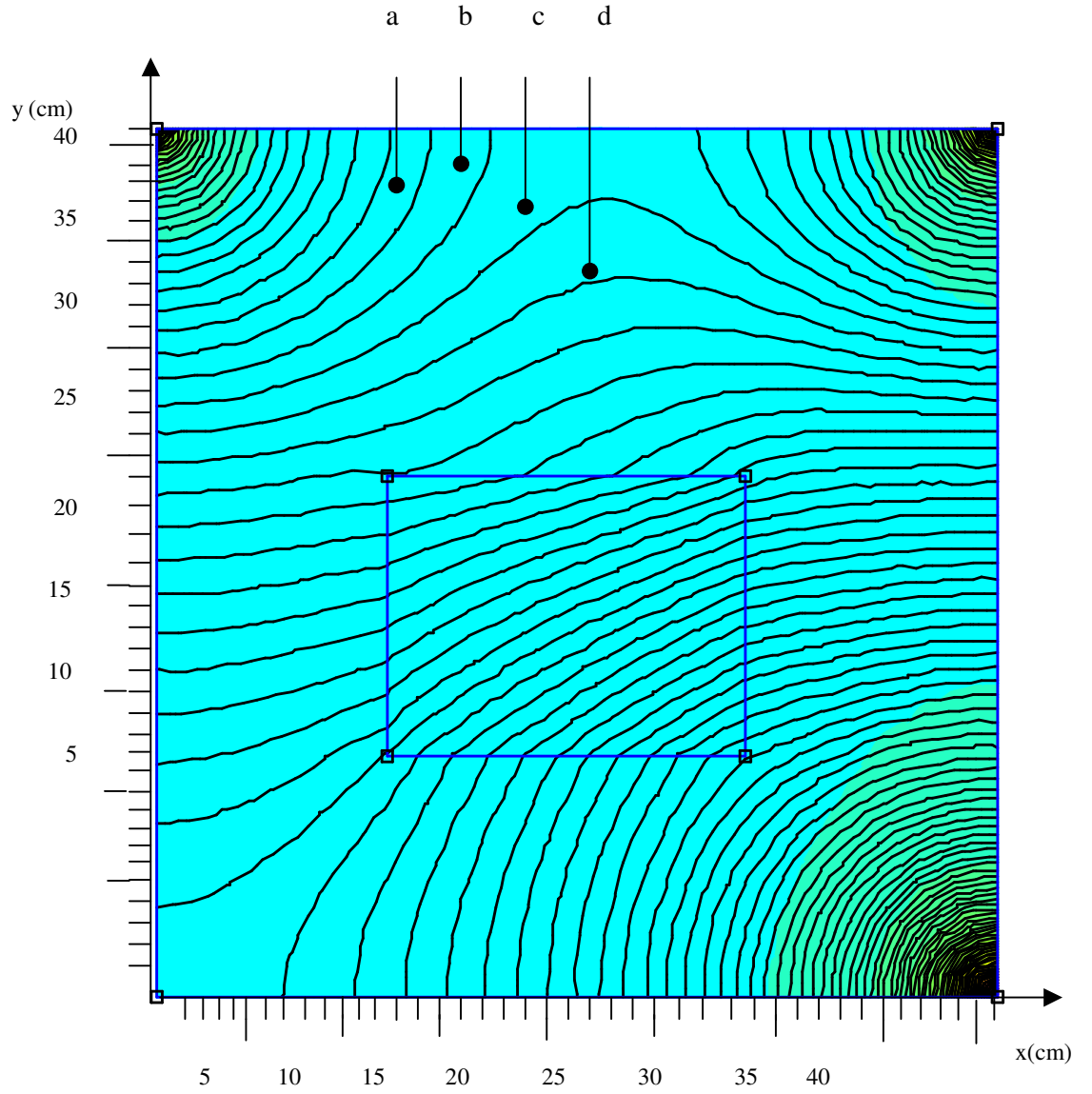
Şekil 6.7 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 9.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,2605
b	(15 ; 36,5)	0,2628
c	(20 ; 36,5)	0,2661
d	(20 ; 34,2)	0,2681



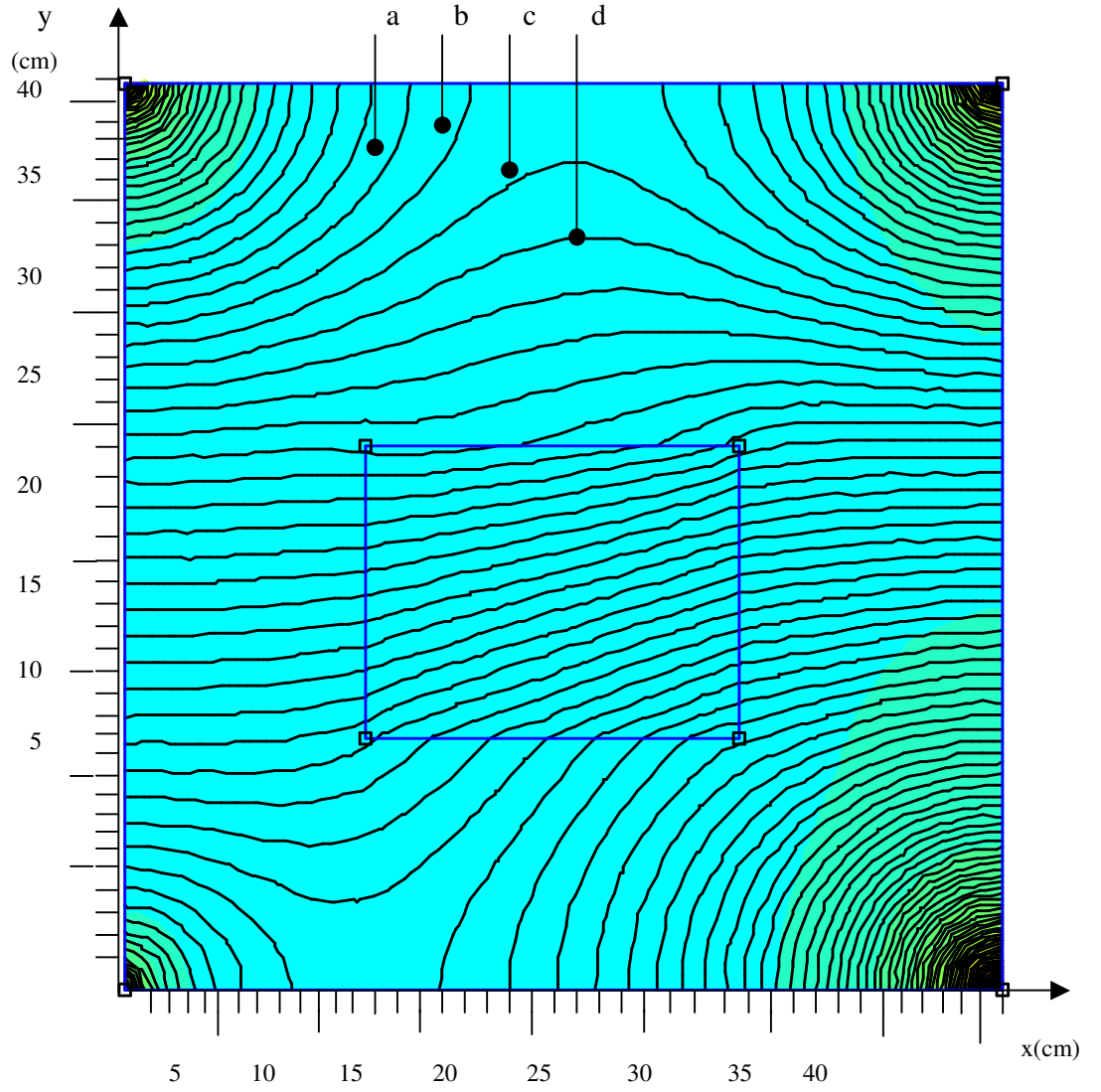
Şekil 6.8 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 10.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,2225
b	(15 ; 36,5)	0,2244
c	(20 ; 36,5)	0,2276
d	(20 ; 34,2)	0,2292



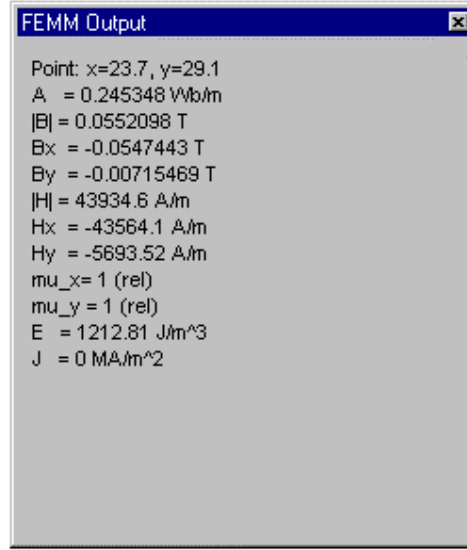
Şekil 6.9 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 11.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,2323
b	(15 ; 36,5)	0,2343
c	(20 ; 36,5)	0,237
d	(20 ; 34,2)	0,2388



Şekil 6.10 Ölçüm sonuçlarına göre bilgisayar programı kullanılarak bacaktan 12.5 cm yükseklikteki akı dağılımı ($I = 2,1 \text{ A}$)

Akı dağılım eğrilerinin koordinat ve eş potansiyel akı değerleri		
Nokta	koordinatı (x ; y)	akı değeri (Wb)
a	(13,9 ; 37,8)	0,2141
b	(15 ; 36,5)	0,2158
c	(20 ; 36,5)	0,2186
d	(20 ; 34,2)	0,2202



Şekil 6.11 Bacaktan 12.5 cm yükseklikteki (23.7 ; 29.1) koordinatlarına ait akı büyüklükleri

Şekillerde yer alan dikdörtgen çizgili orta bölge sekonder bacağına geçtiği kısımdır, yani nüve olan bölgedir. Bu orta bölge içinde yer alan akı dağılımları faydalı akı dağılımlarıdır Bu bölge dışındaki akı dağılımları ise kaçak akı dağılımlarını göstermektedir. Ölçü bobinlerinin yüksekliği artırıldıkça önce kaçak akı değerlerinde artış olmakta ve 7,5 cm yüksekliğe kadar bu artış sürmekte, 7,5 cm'den sonra tekrar bir azalma olduğu görülmektedir. 5,5 cm ile 6,5 cm arası ve 6,5 cm ile 7,5 cm arası parça parça incelendiğinde lineer bir artış görülebilmektedir 7,5 cm ile 9,5 cm arası ise kısmi bir lineer azalış görülmektedir. Akıdaki bu değişimi görebilmek için programın ekran çıktısı (görüntüsü) üzerinde akı çizgilerine ilişkin herhangi bir noktaya fare ile tıkladığımızda o noktaya ait koordinatları ve akıya ait bütün değerler Şekil 6.11.deki gibi görülebilmektedir.

VI.2. Sonlu Farklar Yönteminin Uygulanması

VI.2.1. Bacaktan 5,5 cm Yüksekliğindeki Yüzey İçin Yapılan Örnek Hesaplama

Sonlu farklar yöntemini kullanarak Şekil 4.6'da yer alan her bir karedeki potansiyel değerleri hesaplayarak ölçüm sonuçları ile karşılaştırabilmek için sınır değerlerin belirlenmesi gerekir. Sınır değerleri olarak Tablo 6.19'da yüksekliklere göre koordinatları verilmiş ölçüm sonuçları kullanılacaktır. Bölgedeki iç düğüm noktaları için yazılan sonlu fark denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$V_1 = \frac{1}{4}(V_{1523} + V_{40} + V_{1681} + V_2) \quad (6.1)$$

$$V_2 = \frac{1}{4}(V_{1524} + V_{41} + V_1 + V_3) \quad (6.2)$$

$$V_3 = \frac{1}{4}(V_{1525} + V_{42} + V_2 + V_4) \quad (6.3)$$

$$V_4 = \frac{1}{4}(V_{1526} + V_{43} + V_3 + V_5) \quad (6.4)$$

$$V_5 = \frac{1}{4}(V_{1527} + V_{44} + V_4 + V_6) \quad (6.5)$$

$$V_6 = \frac{1}{4}(V_{1528} + V_{45} + V_5 + V_7) \quad (6.6)$$

.

.

.

$$V_{40} = \frac{1}{4}(V_1 + V_{79} + V_{1680} + V_{41}) \quad (6.7)$$

$$V_{41} = \frac{1}{4}(V_2 + V_{80} + V_{40} + V_{42}) \quad (6.8)$$

$$V_{42} = \frac{1}{4}(V_3 + V_{81} + V_{41} + V_{43}) \quad (6.9)$$

$$V_{43} = \frac{1}{4}(V_4 + V_{82} + V_{42} + V_{44}) \quad (6.10)$$

.

.

.

$$V_{1483} = \frac{1}{4}(V_{1641} + V_{1444} + V_{1643} + V_{1484}) \quad (6.11)$$

Sınırların bilinen potansiyelleri ile iç noktaların bilinmeyen potansiyelleri birer tarafa toplanırsa,

$$4V_1 - V_2 - V_{40} = V_{1523} + V_{1681} \quad (6.12)$$

$$4V_2 - V_3 - V_{41} - V_1 = V_{1524} \quad (6.13)$$

$$4V_3 - V_4 - V_{42} - V_2 = V_{1525} \quad (6.14)$$

$$4V_4 - V_5 - V_{43} - V_3 = V_{1526} \quad (6.15)$$

$$4V_5 - V_6 - V_{44} - V_4 = V_{1527} \quad (6.16)$$

$$4V_6 - V_7 - V_{45} - V_5 = V_{1528} \quad (6.17)$$

.

.

$$4V_{40} - V_{41} - V_1 - V_{79} = V_{1680} \quad (6.18)$$

$$4V_{41} - V_2 - V_{80} - V_{40} - V_{42} = 0 \quad (6.19)$$

$$4V_{42} - V_3 - V_{81} - V_{41} - V_{43} = 0 \quad (6.20)$$

$$V_{43} - V_4 - V_{82} - V_{42} - V_{44} = 0 \quad (6.21)$$

.

.

.

$$4V_{1483} - V_{1444} - V_{1484} = V_{1643} + V_{1641} \quad (6.22)$$

elde edilir. Bu denklemleri matris biçimine sokarsak,

$$[A][V]=[B] \quad (6.23)$$

şeklinde gösterilebilir. Burada $[A]$ matrisine katsayılar matrisi, $[V]$ matrisine bilinmeyenlerin matrisi, $[B]$ matrisine de bilinen değerlerin (sınır değerlerin) matrisi denir. Bu denklem sistemi çözülerek iç noktadaki potansiyel değerleri hesaplanır. Bacaktan 5,5 cm; 6,5 cm; 7,5 cm; 8,5 cm; 9,5 cm; 10,5 cm; 11,5 cm; 12,5 cm yüksekliğindeki yüzey üzerinde bulunan tüm potansiyel değerleri bu yöntemle hesaplanır.

Bu denklem sisteminin çözülebilmesi için $[A]$ katsayılar matrisinin tersinin alınabilmesi gerekir. Bunun için de $[A]$ katsayılar matrisi kare matris olmalıdır. Oysa Office Excel Programı'nın iterasyon özelliği kullanılarak sonlu farklar yöntemi ile hesaplama çok daha hızlı ve kolay yapılabilir [2] ve ayrıca matrisin tersini alma gibi bir işlem olmayacağından özellikle kare matris oluşturmaya gerek kalmamaktadır.

Tablo 6.1. Yüksekliklere göre sınır düğümlerin koordinatları (Tablo 5.1'deki konuma göre)

[illegible]

.	.	.	.	.	.	.	.	.
(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)	(30.24)

Hesaplama sonuçları

2,1 A için Tablo [(6,2), (6.3), (6.4), (6.5), (6.6), (6.7), (6.8), (6.9)]’da,

4 A için ise Tablo [(6,10), (6.11), (6.12), (6.13), (6.14), (6.15), (6.16), (6.17)]’de verilmiştir.

0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.37	0.36	0.34	0.32	0.25	0.24	0.20	0.19	0.17	0.17	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12	
0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.36	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16
0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.18	0.16	0.16	
0.17	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16	0.16	
0.18	0.20	0.21	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.18	0.18	0.16	0.16	
0.19	0.21	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.20	
0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	
0.20	0.23	0.25	0.27	0.30	0.32	0.34	0.36	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.44	0.42	0.40	0.38	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26	0.26			
0.22	0.24	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.39	0.41	0.43	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.57	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.47	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.26		
0.23	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35	0.38	0.41	0.43	0.46	0.49	0.51	0.54	0.56	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50	0.47	0.45	0.42	0.39	0.37	0.35	0.32	0.30	0.28	0.28		
0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.57	0.60	0.62	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68																					

0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.20	0.26	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.34	0.28	0.26	0.28	0.28	0.24	0.21	0.19	0.16	0.13	
0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.22	0.23	0.24	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.37	0.35	0.31	0.29	0.29	0.28	0.25	0.23	0.20	0.17	0.14	
0.16	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.21	0.19	0.16		
0.16	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.42	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.44	0.43	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.22	0.20	0.17	
0.18	0.19	0.21	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	
0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.35	0.33	0.30	0.28	0.25	0.22	0.22	0.19
0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.55	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.37	0.35	0.32	0.29	0.27	0.24	0.21	
0.20	0.23	0.25	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.54	0.55	0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57	0.56	0.54	0.53	0.51	0.49	0.46	0.44	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23	
0.21	0.24	0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.47	0.49	0.52	0.54	0.56	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62	0.62	0.62	0.61	0.60	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.46	0.44	0.41	0.38	0.35	0.32	0.30	0.27	0.24		
0.23	0.26	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.42	0.45	0.47	0.50	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65	0.64	0.62	0.61	0.59	0.56	0.54	0.52	0.49	0.46	0.43	0.40	0.37	0.34	0.31	0.28	0.25	
0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.44	0.47	0.50	0.53	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.62	0.60	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	

Tablo 6.4 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacadan 7.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0.15	0.16	0.17	0.17	0.19	0.19	0.20	0.21	0.24	0.25	0.30	0.28	0.31	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43	0.42	0.40	0.49	0.48	0.47	0.46	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29			
0.15	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24	0.27	0.28	0.31	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.45	0.45	0.48	0.48	0.47	0.46	0.41	0.38	0.37	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30		
0.17	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.44	0.46	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31			
0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.45	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.47	0.45	0.44	0.42	0.40	0.38	0.37	0.35	0.33			
0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34			
0.20	0.22	0.24	0.26	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.51	0.53	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.58	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.38	0.36			
0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.33	0.35	0.38	0.40	0.42	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.61	0.60	0.60	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.52	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.38			
0.20	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58	0.59	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.56	0.55	0.53	0.51	0.49	0.48	0.45	0.43	0.40		
0.25	0.27	0.29	0.32	0.35	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44			
0.26	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55	0.53	0.51	0.50	0.50			
0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73	0.72	0.71	0.69	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61	0.59	0.57	0.56	0.54	0.52	0.51		
0.28	0.31	0.34	0.38	0.41	0.44	0.47	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80	0.79	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.77	0.75	0.74	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58	0.56	0.55		
0.29	0.33	0.36	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57	0.61	0.64	0.67	0.71	0.73	0.76	0.78	0.80	0.81	0.83	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.79	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55		
0.33	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.72	0.75	0.78	0.81	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59		
0.34	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.72	0.76	0.80	0.83	0.86	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.94	0.94	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60
0.34	0.37	0.41	0.45	0.48	0.52	0.56	0.60	0.65	0.70	0.77	0.81	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94	0.91	0.89	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71	0.69	0.67	0.65	0.64	0.64	0.64		
0.35	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.67	0.73	0.83	0.86	0.91	0.94	0.97	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.06	1.06	1.05	1.03	1.01	0.98	0.95	0.92	0.93	0.88	0.84	0.79	0.76	0.74	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63			
0.33	0.39	0.43	0.47	0.51	0.55	0.59	0.63	0.67	0.71	0.72																																	
0.36	0.40	0.45	0.49	0.53	0.57	0.61	0.65	0.68	0.72	0.74																																	
0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.73	0.76																																	
0.40	0.44	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.68	0.71	0.75	0.78																																	
0.41	0.45	0.49	0.53	0.57	0.62	0.66	0.69	0.73	0.76	0.80																																	
0.42	0.46	0.50	0.55	0.59	0.63	0.67	0.71	0.75	0.78	0.82																																	
0.42	0.47	0.51	0.56	0.61	0.65	0.70	0.73	0.77	0.80	0.84																																	
0.42	0.47	0.53	0.58	0.63	0.68	0.72	0.76	0.80	0.83	0.86																																	
0.40	0.47	0.54	0.60	0.65	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.88																																	
0.39	0.48	0.56	0.62	0.68	0.74	0.78	0.82	0.86	0.88	0.90																																	
0.37	0.49	0.59	0.66	0.72	0.77	0.82	0.86	0.90	0.92	0.92																																	
0.34	0.54	0.64	0.71	0.76	0.82	0.86	0.91	0.96	0.99	0.94																																	
0.73	0.69	0.72	0.76	0.81	0.86	0.91	0.97	1.03	1.13	1.33	1.49	1.49	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.37	1.35	1.32	1.29	1.26	1.22	1.19	0.91	0.97	0.96	0.93	0.90	0.87	0.84	0.82	0.79	0.76	0.74	0.71			
0.77	0.76	0.78	0.82	0.86	0.90	0.95	1.01	1.07	1.16	1.27	1.37	1.41	1.42	1.43	1.42	1.41	1.40	1.38	1.37	1.35	1.33	1.30	1.27	1.24	1.21	1.17	1.11	1.00	0.97	0.95	0.92	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76	0.74	0.71				
0.80	0.82	0.84	0.87	0.90	0.94	0.99	1.04	1.10	1.17	1.24	1.30	1.34	1.36	1.37	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.28	1.26	1.23	1.20	1.17	1.12	1.07	1.01	0.98	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71				
0.84	0.86	0.88	0.91	0.94	0.97	1.02	1.06	1.11	1.16	1.22	1.26	1.29	1.31	1.32	1.32	1.32	1.31	1.31	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.19	1.16	1.13	1.09	1.05	1.01	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.71			
0.88	0.90	0.92	0.94	0.97	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.23	1.26	1.27	1.28	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.22	1.20	1.18	1.16	1.13	1.10	1.07	1.03	0.99	0.96	0.93	0.90	0.87	0.85	0.83	0.80	0.78	0.75	0.73	0.71			
0.93	0.94	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.23	1.24	1.24	1.24	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.17	1.15	1.13	1.10	1.07	1.04	1.01	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75	0.72	0.70			
0.97	0.98	0.99	1.00	1.02	1.05	1.08	1.11	1.15	1.18	1.19	1.20	1.21	1.21	1.21	1.20	1.19	1.18	1.18	1.16	1.15	1.14	1.12	1.10	1.08	1.05	1.02	0.99	0.95	0.93	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82	0.79	0.77	0.75	0.72	0.70				
1.01	1.01	1.01	1.02	1.04	1.06	1.10	1.13	1.17	1.19	1.20	1.20	1.19	1.18	1.17	1.17	1.16	1.15	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03	1.00	0.96	0.93	0.90	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.72	0.69			
1.06	1.04	1.03	1.03	1.05	1.07	1.11	1.15	1.20	1.22	1.23	1.20	1.17	1.15	1.14	1.13	1.12	1.12	1.11	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.04	1.03	1.02	1.01	0.98	0.94									

Tablo 6.5 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacadan 8,5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,15	0,16	0,18	0,20	0,23	0,24	0,28	0,35	0,38	0,40	0,42	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,43	0,42	0,40	0,50	0,49	0,48	0,47	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	
0,15	0,17	0,19	0,22	0,24	0,27	0,30	0,34	0,37	0,39	0,39	0,36	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,49	0,49	0,48	0,46	0,42	0,40	0,38	0,37	0,35	0,34	0,32	0,31	
0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,37	0,39	0,40	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,36	0,34	0,32	
0,17	0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,38	0,36	0,33	
0,18	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38
0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	
0,21	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,42	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,50	0,49	0,47	0,46	
0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,58	0,56	0,55	0,53	0,52	0,51	0,50	
0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51	
0,25	0,28	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,56	0,55	
0,25	0,29	0,33	0,37	0,40	0,44	0,48	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,74	0,73	0,71	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,61	0,60	0,58	0,57	
0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	
0,27	0,31	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,76	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,63	0,61		
0,27	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,55	0,59	0,64	0,69	0,74	0,77	0,81	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,68	0,67	0,66	
0,27	0,33	0,38	0,43	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,73	0,80	0,82	0,85	0,89	0,92	0,95	0,97	0,99	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,69	0,70	
0,27	0,34	0,40	0,45	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,76	0,90	0,85	0,90	0,94	0,97	1,00	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,07	1,06	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,95	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,75	0,74	0,72	0,71	0,69	
0,35	0,38	0,42	0,47	0,51	0,56	0,60	0,65	0,69	0,74	0,75																			0,97	0,94	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	
0,38	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,62	0,66	0,70	0,74	0,77																			1,00	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	
0,40	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79																			1,02	0,99	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	
0,42	0,45	0,48	0,52	0,56	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77	0,81																			1,05	1,01	0,98	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,77	0,75	0,73	
0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,75	0,79	0,83																			1,07	1,03	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,84	0,81	0,78	0,76	0,74	
0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,64	0,68	0,72	0,76	0,80	0,84																			1,09	1,05	1,01	0,98	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	
0,44	0,47	0,52	0,56	0,61	0,65	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86																			1,11	1,07	1,03	0,99	0,96	0,92	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,75	
0,43	0,48	0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,76	0,80	0,84	0,88																			1,13	1,09	1,05	1,01	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83	0,81	0,78	0,75	
0,42	0,47	0,53	0,58	0,63	0,69	0,74	0,78	0,83	0,86	0,90																			1,15	1,11	1,06	1,02	0,98	0,94	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	
0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,76	0,81	0,86	0,89	0,91																			1,17	1,12	1,07	1,03	0,99	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	
0,39	0,47	0,54	0,60	0,67	0,73	0,79	0,84	0,89	0,93	0,93																			1,19	1,13	1,08	1,03	0,99	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	
0,36	0,47	0,55	0,62	0,69	0,75	0,82	0,89	0,95	0,99	0,94																			1,21	1,14	1,09	1,04	0,99	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	
0,43	0,50	0,57	0,64	0,71	0,78	0,85	0,93	1,02	1,15	1,43	1,55	1,54	1,53	1,52	1,50	1,49	1,47	1,46	1,44	1,42	1,40	1,38	1,36	1,34	1,32	1,29	1,27	1,25	1,24	1,15	1,09	1,03	0,99	0,95	0,91	0,87	0,84	0,80	0,77	0,75	
0,45	0,52	0,58	0,66	0,73	0,80	0,88	0,96	1,05	1,17	1,32	1,41	1,44	1,45	1,45	1,44	1,43	1,42	1,40	1,38	1,37	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,24	1,21	1,18	1,13	1,08	1,03	0,98	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74		
0,46	0,53	0,60	0,67	0,74	0,82	0,90	0,98	1,06	1,16	1,26	1,33	1,37	1,39	1,40	1,40	1,39	1,38	1,36	1,35	1,34	1,32	1,30	1,28	1,26	1,24	1,21	1,18	1,15	1,11	1,06	1,02	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73		
0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,91	0,99	1,07	1,15	1,22	1,28	1,32	1,34	1,35	1,36	1,35	1,35	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,27	1,25	1,24	1,21	1,19	1,16	1,13	1,09	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,73	
0,50	0,56	0,63	0,70	0,78	0,85	0,92	1,00	1,07	1,14	1,20	1,25	1,28	1,30	1,31	1,32	1,32	1,31	1,31	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,19	1,17	1,14	1,11	1,07	1,03	0,99	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,72	
0,51	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,14	1,19	1,23	1,25	1,27	1,28	1,28	1,28	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,12	1,09	1,06	1,02	0,98	0,93	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,73	0,71	
0,53	0,59	0,66	0,73	0,80	0,87	0,95	1,02	1,09	1,15	1,19	1,22	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14	1,11	1,09	1,05	1,01	0										

Tablo 6.6 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 2,1 A ve bacadan 9.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,14	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,25	0,24	0,30	0,34	0,37	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,41	0,39	0,37	0,37	0,32	0,32	0,28	0,26	0,26	0,24	0,17	0,13
0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34	0,35	0,34	0,35	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,42	0,40	0,39	0,37	0,35	0,33	0,30	0,28	0,26	0,23	0,19	0,15	
0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,25	0,22	0,20
0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,31	0,29	0,26	0,23	0,20
0,17	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,35	0,33	0,30	0,27	0,24	0,21
0,18	0,21	0,23	0,26	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40	0,43	0,45	0,46	0,48	0,50	0,51	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,50	0,48	0,47	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,29	0,26	0,23	
0,19	0,22	0,25	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,27	0,24
0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,57	0,56	0,54	0,52	0,49	0,47	0,44	0,41	0,39	0,36	0,32	0,30	0,27
0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,31	0,28
0,23	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60	0,57	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29
0,22	0,26	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,49	0,45	0,42	0,38	0,34	0,29
0,23	0,27	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49	0,52	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61	0,58	0,55	0,51	0,48	0,44	0,40	0,36	0,30
0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,84	0,84	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,54	0,51	0,47	0,43	0,39	0,36
0,25	0,29	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,70	0,74	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,61	0,58	0,54	0,50	0,46	0,41	0,37	
0,27	0,31	0,35	0,39	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,65	0,69	0,74	0,78	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,81	0,78	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
0,27	0,32	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67	0,73	0,78	0,83	0,88	0,91	0,94	0,97	0,99	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,75	0,72	0,68	0,64	0,61	0,56	0,52	0,46	0,38
0,28	0,34	0,39	0,43	0,47	0,52	0,56	0,60	0,65	0,70	0,76	0,84	0,89	0,93	0,97	1,01	1,04	1,06	1,08	1,09	1,09	1,09	1,08	1,07	1,05	1,03	1,00	0,96	0,92	0,90	0,87	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,56	0,51	0,39
0,34	0,37	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,74																														
0,37	0,40	0,43	0,47	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,73	0,77																														
0,39	0,42	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,66	0,70	0,75	0,79																														
0,40	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,72	0,77	0,82																														
0,42	0,45	0,48	0,52	0,56	0,60	0,65	0,69	0,74	0,79	0,84																														
0,42	0,46	0,49	0,53	0,57	0,62	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86																														
0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,63	0,67	0,72	0,77	0,82	0,88																														
0,42	0,46	0,50	0,54	0,59	0,64	0,68	0,73	0,79	0,84	0,89																														
0,42	0,46	0,50	0,55	0,59	0,64	0,69	0,75	0,80	0,85	0,91																														
0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,76	0,81	0,86	0,92																														
0,39	0,44	0,49	0,55	0,60	0,66	0,71	0,77	0,82	0,88	0,93																														
0,37	0,43	0,49	0,55	0,61	0,66	0,72	0,78	0,83	0,89	0,94																														
0,35	0,42	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,79	0,85	0,90	0,93	1,50	1,50	1,49	1,48	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,40	1,39	1,37	1,35	1,33	1,31	1,29	1,26	1,24	1,09	1,07	1,03	0,98	0,93	0,88	0,83	0,79	0,74	0,68	0,62	0,50
0,36	0,43	0,49	0,55	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87	0,95	1,05	1,27	1,35	1,38	1,40	1,40	1,40	1,40	1,39	1,38	1,36	1,35	1,33	1,32	1,30	1,27	1,25	1,22	1,18	1,11	1,06	1,01	0,97	0,92	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66	0,59	0,51
0,36	0,43	0,49	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,88	0,96	1,06	1,18	1,25	1,30	1,33	1,34	1,35	1,35	1,34	1,34	1,33	1,31	1,30	1,28	1,26	1,24	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,01	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65	0,58	0,51
0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,82	0,88	0,96	1,04	1,12	1,19	1,24	1,27	1,29	1,30	1,30	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,21	1,19	1,16	1,12	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91	0,86	0,81	0,76	0,70	0,64	0,58	0,52	
0,37	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88	0,95	1,02	1,09	1,14	1,19	1,22	1,24	1,25	1,26	1,26	1,26	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,16	1,14	1,10	1,07	1,03	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,75	0,70	0,64	0,58	0,52	
0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88	0,94	1,00	1,06	1,11	1,15	1,18	1,20	1,22	1,23	1,23	1,23	1,23	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,14	1,12	1,09	1,06	1,02	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,75	0,70	0,64	0,58	0,52
0,38	0,44	0,51	0,57	0,63	0,69	0,76	0,82	0,88	0,93	0,99	1,04	1,09	1,12	1,15	1,17	1,19	1,20	1,20	1,20	1,20	1,19	1,19	1,18	1,16	1,15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,02	0,99	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,64	0,58	0,53
0,38	0,45	0,51	0,57	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93	0,98	1,03	1,07	1,10	1,13	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,17	1,17	1,16	1,15	1,13	1,12	1,10	1,08	1,05	1,02	0,99	0,95	0,91	0,86	0,81	0,76	0,70	0,65	0,59	0,53
0,39	0,45	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,87	0,93	0,98	1,02	1,06	1,09	1,11	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,09	1,07	1,05	1,02	0,99	0,96	0,92	0,87	0,82	0,77	0,7			

0.14	0.14	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.19	0.25	0.29	0.32	0.26	0.29	0.32	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.40	0.39	0.37	0.34	0.30	0.29	0.29	0.28	0.28	0.24	0.23	0.23	0.20	0.16	0.12	
0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	0.24	0.27	0.30	0.31	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.36	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.26	0.25	0.23	0.20	0.17	0.12	
0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.19	0.18
0.16	0.18	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.42	0.44	0.45	0.47	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.18
0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50	0.48	0.47	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.22	0.19
0.18	0.20	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.39	0.36	0.34	0.32	0.29	0.27	0.24	0.20	
0.18	0.21	0.23	0.26	0.28	0.31	0.33	0.36	0.38	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.26	0.22
0.18	0.22	0.24	0.27	0.30	0.33	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48	0.46	0.43	0.41	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29	0.26
0.20	0.23	0.26	0.29	0.32	0.34	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.48	0.46	0.43	0.41	0.38	0.35	0.33	0.30	0.28
0.22	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.63	0.64	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.67	0.65	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54	0.51	0.49	0.46	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.30
0.22	0.25	0.29	0.32	0.35	0.38	0.41	0.45	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.68	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71	0.69	0.68	0.66	0.64	0.62	0.59	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30
0.23	0.26</																																							

0.14	0.14	0.14	0.16	0.17	0.19	0.21	0.16	0.21	0.24	0.27	0.24	0.27	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.35	0.30	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.20	0.19	0.19	0.17	0.15	0.11
0.15	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.20	0.22	0.21	0.24	0.26	0.28	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.39	0.38	0.36	0.32	0.29	0.27	0.26	0.26	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.15	0.11		
0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	0.26	0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.44	0.44	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.32	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.15	0.17		
0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.44	0.43	0.41	0.40	0.37	0.35	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16			
0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20	0.17			
0.17	0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.46	0.48	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.48	0.46	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.22	0.19			
0.18	0.20	0.22	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.24	0.21			
0.19	0.21	0.24	0.26	0.29	0.31	0.33	0.36	0.38	0.40	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.56	0.56	0.55	0.53	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.31	0.29	0.28	0.25		
0.20	0.22	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35	0.38	0.40	0.43	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.60	0.61	0.60	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.40	0.38	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28			
0.21	0.24	0.26	0.29	0.32	0.35	0.37	0.40	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.62	0.60	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.38	0.36	0.33	0.31	0.31	0.29			
0.22	0.25	0.28	0.31	0.33	0.36	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.54	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.67	0.65	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.53	0.50	0.48										

0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.18	0.19	0.15	0.18	0.21	0.23	0.21	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33	0.35	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.30	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.11
0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.32	0.30	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.11
0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.22	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28	0.30	0.31	0.33	0.34	0.36	0.37	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.37	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.16
0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.25	0.26	0.28	0.29	0.31	0.32	0.34	0.35	0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	
0.16	0.18	0.19	0.21	0.22	0.24	0.25	0.27	0.28	0.30	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.43	0.44	0.43	0.43	0.42	0.41	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	
0.17	0.19	0.21	0.22	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.34	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.23	0.21	
0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40	0.41	0.43	0.44	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.48	0.48	0.48	0.47	0.46	0.44	0.43	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20
0.19	0.21	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.42	0.44	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.48	0.47	0.46	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.28	0.27	0.25
0.20	0.22	0.24	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50	0.51	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.51	0.50	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28
0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52	0.53	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.55	0.53	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.29
0.22	0.25	0.27	0.29	0.32	0.34	0.37	0.39	0.42	0.44	0.47	0.49	0.51	0.53	0.55	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.55	0.53	0.51	0.48	0.46	0.44	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29
0.23	0.26</																																							

Tablo 6.10 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacadan 5 5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0.43	0.30	0.34	0.37	0.42	0.44	0.45	0.50	0.67	0.67	0.90	0.42	0.47	0.51	0.54	0.57	0.60	0.61	0.63	0.63	0.64	0.63	0.62	0.61	0.59	0.57	0.53	0.50	0.46	0.83	0.71	0.65	0.58	0.56	0.52	0.46	0.44	0.41	0.40	0.15	0.14	
0.19	0.31	0.37	0.41	0.45	0.48	0.51	0.56	0.63	0.67	0.71	0.58	0.56	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	0.67	0.66	0.65	0.63	0.62	0.60	0.59	0.60	0.70	0.68	0.65	0.60	0.57	0.53	0.49	0.45	0.41	0.37	0.27	0.22	
0.39	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51	0.55	0.59	0.63	0.66	0.67	0.64	0.63	0.64	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70	0.71	0.71	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.65	0.65	0.65	0.68	0.67	0.65	0.62	0.58	0.55	0.51	0.47	0.43	0.38	0.33	0.30	
0.42	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.62	0.65	0.67	0.69	0.68	0.68	0.69	0.70	0.71	0.73	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.68	0.66	0.63	0.60	0.56	0.53	0.49	0.45	0.41	0.37	0.34	
0.45	0.47	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.70	0.68	0.65	0.62	0.58	0.55	0.51	0.47	0.43	0.40	0.38	
0.48	0.50	0.53	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.73	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.85	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.78	0.77	0.75	0.73	0.70	0.67	0.64	0.60	0.57	0.53	0.49	0.45	0.42	0.39	
0.51	0.53	0.56	0.58	0.62	0.65	0.68	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.90	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81	0.78	0.76	0.73	0.70	0.66	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.43	0.40	
0.52	0.55	0.58	0.61	0.65	0.68	0.71	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.93	0.94	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.93	0.91	0.89	0.87	0.85	0.82	0.79	0.76	0.73	0.69	0.65	0.61	0.57	0.53	0.49	0.45	0.41	
0.55	0.58	0.61	0.64	0.68	0.71	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	0.98	0.97	0.95	0.92	0.89	0.86	0.83	0.79	0.76	0.72	0.67	0.63	0.59	0.55	0.50	0.46	0.42
0.58	0.60	0.64	0.67	0.71	0.74	0.78	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.96	0.98	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.04	1.02	1.00	0.97	0.94	0.91	0.87	0.83	0.79	0.74	0.70	0.66	0.61	0.56	0.52	0.47	0.42	
0.59	0.62	0.66	0.70	0.74	0.78	0.82	0.86	0.90	0.93	0.96	0.99	1.01	1.04	1.06	1.08	1.10	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.12	1.11	1.09	1.06	1.03	0.99	0.95	0.91	0.87	0.82	0.77	0.73	0.68	0.63	0.58	0.53	0.48	0.43	
0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.81	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.04	1.07	1.09	1.12	1.14	1.16	1.18	1.20	1.21	1.21	1.21	1.21	1.20	1.18	1.16	1.13	1.09	1.05	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.44	
0.60	0.65	0.69	0.74	0.79	0.84	0.89	0.95	1.00	1.04	1.07	1.10	1.12	1.15	1.17	1.20	1.23	1.25	1.27	1.28	1.29	1.29	1.29	1.28	1.26	1.23	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.89	0.84	0.78	0.73	0.68	0.62	0.57	0.51	0.45	
0.60	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.93	0.99	1.05	1.11	1.14	1.16	1.17	1.20	1.23	1.26	1.29	1.32	1.35	1.36	1.37	1.38	1.37	1.36	1.34	1.31	1.27	1.23	1.17	1.11	1.04	0.98	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	
0.62	0.67	0.72	0.78	0.84	0.90	0.97	1.04	1.11	1.19	1.24	1.21	1.22	1.25	1.29	1.33	1.37	1.40	1.43	1.45	1.46	1.47	1.47	1.45	1.43	1.40	1.36	1.31	1.24	1.16	1.09	1.02	0.96	0.90	0.84	0.78	0.72	0.66	0.61	0.56	0.51	
0.63	0.68	0.73	0.79	0.86	0.93	1.00	1.08	1.18	1.29	1.40	1.24	1.24	1.28	1.34	1.39	1.44	1.48	1.52	1.55	1.56	1.57	1.57	1.56	1.54	1.50	1.46	1.40	1.33	1.20	1.12	1.05	0.99	0.92	0.86	0.80	0.74	0.68	0.62	0.57	0.52	
0.67	0.68	0.74	0.80	0.87	0.95	1.02	1.11	1.23	1.41	1.83	1.11	1.21	1.31	1.39	1.46	1.53	1.58	1.62	1.65	1.67	1.68	1.68	1.67	1.65	1.62	1.57	1.52	1.46	1.20	1.15	1.08	1.02	0.95	0.89	0.82	0.76	0.69	0.63	0.57	0.53	
0.52	0.64	0.73	0.81	0.88	0.96	1.04	1.12	1.21	1.29	1.28																															
0.54	0.64	0.73	0.81	0.89	0.97	1.05	1.12	1.19	1.25	1.28																															
0.56	0.65	0.74	0.82	0.91	0.98	1.06	1.13	1.19	1.25	1.29																															
0.58	0.67	0.76	0.84	0.92	1.00	1.07	1.14	1.20	1.26	1.30																															
0.60	0.69	0.77	0.86	0.94	1.02	1.09	1.16	1.22	1.27	1.32																															
0.61	0.70	0.79	0.88	0.96	1.04	1.11	1.18	1.24	1.29	1.34																															
0.63	0.72	0.81	0.90	0.99	1.07	1.14	1.21	1.27	1.32	1.37																															
0.64	0.74	0.84	0.93	1.02	1.10	1.18	1.25	1.31	1.36	1.40																															
0.65	0.76	0.86	0.96	1.06	1.15	1.23	1.30	1.35	1.40	1.43																															
0.66	0.78	0.90	1.00	1.10	1.20	1.28	1.36	1.41	1.45	1.47																															
0.66	0.81	0.94	1.05	1.16	1.26	1.35	1.43	1.49	1.53	1.51																															
0.67	0.86	0.99	1.11	1.22	1.32	1.42	1.52	1.61	1.66	1.56																															
0.93	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39	1.50	1.62	1.75	1.93	2.24	3.09	3.12	3.14	3.16	3.18	3.19	3.21	3.22	3.24	3.25	3.26	3.27	3.28	3.29	3.29	3.30	3.30	3.30	3.30	1.54	1.60	1.54	1.45	1.36	1.25	1.15	1.04	0.94	0.83	0.72	0.63
0.96	1.03	1.13	1.23	1.34	1.46	1.58	1.71	1.86	2.06	2.33	2.71	2.88	2.96	3.01	3.05	3.08	3.10	3.12	3.13	3.14	3.14	3.14	3.14	3.12	3.09	3.04	2.93	2.69	2.04	1.80	1.65	1.53	1.41	1.30	1.19	1.08	0.97	0.85	0.74	0.64	
0.99	1.08	1.18	1.28	1.40	1.51	1.64	1.78	1.93	2.11	2.32	2.55	2.71	2.82	2.89	2.94	2.97	3.00	3.02	3.03	3.04	3.03	3.02	3.00	2.97	2.92	2.83	2.69	2.47	2.14	1.90	1.73	1.59	1.46	1.34	1.22	1.11	0.99	0.88	0.76	0.64	
0.99	1.11	1.22	1.33	1.45	1.57	1.69	1.82	1.97	2.13	2.30	2.47	2.60	2.70	2.78	2.84	2.88	2.91	2.92	2.94	2.94	2.93	2.91	2.88	2.84	2.77	2.68	2.55	2.36	2.15	1.95	1.78	1.64	1.50	1.38	1.26	1.14	1.02	0.91	0.78	0.65	
1.01	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61	1.73	1.86	1.99	2.13	2.27	2.41	2.53	2.62	2.69	2.75	2.79	2.82	2.84	2.85	2.85	2.84	2.81	2.78	2.73	2.66	2.57	2.44	2.30	2.13	1.96	1.81	1.67	1.54	1.41	1.29	1.17	1.06	0.94	0.82	0.71	
1.10	1.20	1.31	1.43	1.54	1.65	1.77	1.89	2.01	2.14	2.26	2.37	2.47	2.55	2.62	2.68	2.72	2.75	2.76	2.77	2.77	2.76	2.73	2.69	2.64	2.57	2.48	2.37	2.25	2.11	1.97	1.83	1.69	1.57	1.44	1.33	1.21	1.09	0.97	0.84	0.72	
1.11	1.24	1.36	1.47	1.58	1.69	1.81	1.92	2.03	2.14	2.25	2.35	2.43	2.51	2.57	2.62	2.66	2.68	2.70	2.71	2.70	2.69	2.66	2.62	2.56	2.50	2.41	2.32	2.21	2.09	1.96	1.84	1.71	1.59	1.47	1.36	1.24	1.12	1.00	0.87	0.72	
1.13	1.28	1.41	1.52	1.63	1.73	1.84	1.94	2.05	2.16	2.25	2.33	2.41	2.47	2.52	2.57	2.61	2.63	2.65	2.65	2.64	2.63	2.60	2.56	2.50	2.44	2.36	2.28	2.18	2.08	1.96	1.85	1.73	1.61	1.50	1.39	1.27	1.16	1.04	0.91	0.79	
1.24	1.36	1.47	1.58	1.68	1.77	1.87	1.97	2.08	2.18	2.27	2.33	2.39	2.44	2.49	2.53	2.57	2.59	2.60	2.61	2.60	2.58	2.55	2.51	2.45	2																

Tablo 6.11 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacadan 6.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0.30	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.57	0.64	0.71	0.77	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.95	0.95	0.95	0.93	0.91	0.88	0.84	0.80	0.75	0.47	0.45	0.43	0.40	0.38	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.20	0.16	
0.27	0.32	0.35	0.37	0.40	0.43	0.46	0.48	0.51	0.54	0.57	0.63	0.69	0.74	0.80	0.84	0.88	0.91	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.96	0.94	0.92	0.89	0.85	0.79	0.72	0.60	0.54	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21
0.37	0.37	0.39	0.42	0.45	0.47	0.50	0.53	0.57	0.60	0.64	0.69	0.74	0.79	0.83	0.87	0.91	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.97	0.96	0.93	0.90	0.86	0.81	0.74	0.67	0.61	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.24	0.21
0.40	0.41	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.62	0.66	0.70	0.74	0.79	0.83	0.87	0.91	0.94	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89	0.84	0.78	0.72	0.66	0.61	0.57	0.53	0.48	0.44	0.41	0.37	0.33	0.30	0.27	0.24
0.41	0.43	0.46	0.49	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.84	0.88	0.92	0.95	0.98	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	1.03	1.01	0.99	0.96	0.92	0.87	0.82	0.77	0.72	0.67	0.62	0.57	0.53	0.48	0.44	0.40	0.36	0.33	0.30	0.27
0.42	0.46	0.49	0.53	0.57	0.60	0.64	0.68	0.72	0.76	0.81	0.85	0.89	0.93	0.97	1.00	1.03	1.05	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07	1.05	1.03	1.00	0.96	0.92	0.87	0.82	0.77	0.71	0.66	0.61	0.57	0.52	0.47	0.43	0.39	0.35	0.31	
0.45	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.69	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.94	0.98	1.02	1.05	1.08	1.10	1.12	1.13	1.13	1.13	1.12	1.10	1.08	1.05	1.01	0.96	0.92	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.61	0.56	0.51	0.46	0.41	0.37	0.33	0.30
0.45	0.50	0.55	0.60	0.64	0.68	0.73	0.77	0.82	0.87	0.91	0.96	1.00	1.04	1.08	1.11	1.14	1.16	1.18	1.19	1.19	1.18	1.17	1.15	1.13	1.10	1.06	1.02	0.97	0.92	0.86	0.81	0.75	0.70	0.64	0.59	0.54	0.49	0.43	0.38	0.33	0.30
0.47	0.53	0.58	0.63	0.68	0.72	0.77	0.82	0.87	0.92	0.97	1.01	1.06	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.24	1.25	1.25	1.25	1.23	1.22	1.19	1.16	1.12	1.07	1.02	0.97	0.91	0.86	0.80	0.74	0.68	0.63	0.57	0.51	0.46	0.40	0.35	0.30
0.53	0.57	0.62	0.66	0.71	0.76	0.81	0.86	0.92	0.97	1.02	1.07	1.12	1.16	1.20	1.24	1.27	1.29	1.31	1.32	1.32	1.32	1.30	1.28	1.26	1.22	1.18	1.13	1.08	1.02	0.97	0.90	0.84	0.78	0.72	0.66	0.60	0.54	0.47	0.41	0.35	0.30
0.56	0.61	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.91	0.97	1.02	1.08	1.13	1.18	1.23	1.28	1.31	1.34	1.37	1.38	1.39	1.40	1.39	1.38	1.36	1.33	1.29	1.25	1.20	1.14	1.08	1.02	0.95	0.89	0.82	0.76	0.69	0.63	0.56	0.49	0.43	0.36	0.30
0.65	0.64	0.68	0.73	0.78	0.84	0.90	0.95	1.01	1.07	1.13	1.19	1.25	1.31	1.35	1.39	1.42	1.45	1.47	1.48	1.48	1.48	1.46	1.44	1.41	1.37	1.33	1.27	1.21	1.14	1.07	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66	0.59	0.51	0.44	0.36	0.30
0.57	0.64	0.70	0.75	0.81	0.87	0.93	1.00	1.06	1.13	1.19	1.26	1.33	1.39	1.44	1.48	1.51	1.54	1.56	1.57	1.57	1.57	1.56	1.53	1.50	1.46	1.41	1.35	1.28	1.21	1.13	1.05	0.98	0.91	0.83	0.76	0.69	0.61	0.54	0.46	0.37	0.30
0.57	0.65	0.71	0.78	0.84	0.91	0.97	1.04	1.11	1.18	1.25	1.33	1.40	1.47	1.53	1.58	1.61	1.63	1.65	1.67	1.67	1.67	1.66	1.64	1.60	1.56	1.50	1.44	1.36	1.27	1.18	1.10	1.02	0.95	0.87	0.80	0.72	0.64	0.56	0.48	0.40	
0.59	0.66	0.73	0.80	0.87	0.94	1.01	1.08	1.15	1.23	1.31	1.39	1.49	1.57	1.63	1.69	1.71	1.74	1.76	1.77	1.78	1.78	1.77	1.75	1.71	1.67	1.61	1.53	1.44	1.33	1.23	1.15	1.06	0.99	0.91	0.83	0.76	0.68	0.59	0.51	0.42	
0.59	0.68	0.76	0.83	0.90	0.97	1.04	1.12	1.19	1.27	1.36	1.44	1.60	1.70	1.72	1.84	1.82	1.84	1.87	1.89	1.90	1.90	1.89	1.87	1.84	1.79	1.73	1.65	1.55	1.38	1.27	1.18	1.10	1.02	0.95	0.87	0.79	0.71	0.63	0.54	0.43	
0.61	0.70	0.78	0.86	0.93	1.00	1.08	1.15	1.23	1.31	1.41	1.41	1.77	1.90	1.73	2.12	1.88	1.94	1.98	2.01	2.03	2.03	2.03	2.01	1.97	1.93	1.87	1.79	1.71	1.38	1.29	1.21	1.13	1.06	0.98	0.91	0.83	0.75	0.67	0.58	0.45	
0.67	0.74	0.81	0.89	0.96	1.03	1.11	1.18	1.26	1.34	1.44																															
0.70	0.77	0.84	0.92	0.99	1.06	1.14	1.21	1.28	1.36	1.43																															
0.72	0.80	0.87	0.95	1.02	1.10	1.17	1.24	1.31	1.37	1.44																															
0.75	0.83	0.90	0.98	1.06	1.13	1.20	1.27	1.33	1.39	1.45																															
0.78	0.86	0.94	1.01	1.09	1.16	1.23	1.30	1.36	1.42	1.47																															
0.80	0.88	0.97	1.05	1.13	1.20	1.27	1.34	1.40	1.45	1.50																															
0.83	0.91	1.00	1.08	1.17	1.24	1.32	1.38	1.44	1.49	1.54																															
0.85	0.94	1.04	1.12	1.21	1.29	1.36	1.43	1.49	1.54	1.58																															
0.87	0.97	1.07	1.17	1.26	1.34	1.42	1.49	1.55	1.59	1.63																															
0.90	1.01	1.12	1.22	1.31	1.40	1.49	1.56	1.62	1.66	1.69																															
0.92	1.05	1.16	1.27	1.37	1.47	1.56	1.64	1.71	1.75	1.75																															
0.94	1.09	1.22	1.33	1.44	1.55	1.65	1.74	1.82	1.86	1.83																															
1.06	1.17	1.28	1.40	1.51	1.63	1.74	1.85	1.96	2.07	2.18	3.48	3.57	3.66	3.73	3.79	3.85	3.90	3.93	3.96	3.98	3.99	3.99	3.98	3.96	3.94	3.90	3.85	3.80	2.08	1.99	1.88	1.76	1.64	1.52	1.39	1.26	1.13	1.00	0.85	0.67	
1.13	1.23	1.35	1.47	1.59	1.71	1.83	1.96	2.10	2.27	2.53	3.06	3.30	3.45	3.55	3.63	3.70	3.75	3.78	3.81	3.82	3.83	3.82	3.80	3.76	3.71	3.62	3.47	3.19	2.53	2.22	2.02	1.86	1.72	1.58	1.44	1.30	1.16	1.01	0.86	0.70	
1.18	1.29	1.41	1.54	1.66	1.79	1.92	2.05	2.21	2.39	2.62	2.92	3.13	3.29	3.40	3.49	3.56	3.61	3.64	3.67	3.68	3.68	3.66	3.63	3.58	3.50	3.40	3.23	2.97	2.61	2.34	2.12	1.94	1.78	1.63	1.49	1.34	1.19	1.04	0.87	0.71	
1.19	1.34	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.14	2.29	2.45	2.64	2.85	3.03	3.17	3.28	3.36	3.43	3.48	3.52	3.54	3.55	3.54	3.52	3.48	3.43	3.34	3.23	3.07	2.86	2.62	2.39	2.19	2.01	1.84	1.69	1.53	1.38	1.22	1.06	0.90	0.72	
1.25	1.40	1.54	1.67	1.81	1.94	2.07	2.21	2.35	2.50	2.65	2.81	2.96	3.08	3.18	3.26	3.32	3.37	3.40	3.42	3.43	3.42	3.40	3.35	3.29	3.21	3.10	2.96	2.79	2.60	2.41	2.23	2.06	1.90	1.74	1.58	1.42	1.26	1.10	0.93	0.76	
1.36	1.48	1.61	1.75	1.88	2.01	2.14	2.27	2.40	2.53	2.66	2.79	2.91	3.01	3.10	3.17	3.23	3.27	3.30	3.32	3.32	3.31	3.29	3.24	3.19	3.11	3.01	2.88	2.74	2.59	2.42	2.26	2.10	1.95	1.79	1.63	1.47	1.31	1.14	0.97	0.80	
1.38	1.54	1.68	1.82	1.95	2.08	2.21	2.33	2.45	2.57	2.67	2.78	2.87	2.96	3.03	3.10	3.15	3.19	3.22	3.23	3.23	3.22	3.20	3.15	3.10	3.02	2.93	2.83	2.71	2.58	2.44	2.29	2.15	1.99	1.84	1.68	1.52	1.35	1.18	1.00	0.82	
1.48	1.61	1.76	1.90	2.03	2.16	2.29	2.40	2.51	2.61	2.69	2.77	2.84	2.91	2.98	3.04	3.08	3.12	3.15	3.16	3.16	3.15	3.12	3.08	3.02	2.95	2.87	2.78	2.68	2.58	2.46	2.33	2.19	2.05	1.89	1.74	1.57	1.40	1.23	1.05	0.86	
1.52	1.68	1.84	1.98	2.12	2.25	2.37	2.48	2.58	2.66	2.72	2.77	2.82	2.88	2.93	2.98	3.03	3.06	3.09	3.10	3.10	3.08	3.05	3.01	2.96	2.90	2.83	2.75	2.67	2.58	2.49	2.37	2.24	2.10	1.95	1.80	1.					

Tablo 6.12 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 7.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,22	0,36	0,35	0,32	0,30	0,24	0,24	0,21	0,21	0,18	0,31	0,74	0,80	0,86	0,91	0,95	0,98	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,07	1,06	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,45	0,30	0,28	0,28	0,24	0,22	0,21	0,20	0,20	0,18	0,17	0,17
0,33	0,36	0,36	0,35	0,34	0,33	0,33	0,33	0,35	0,38	0,50	0,69	0,79	0,86	0,92	0,96	1,00	1,03	1,05	1,07	1,07	1,08	1,07	1,06	1,04	1,01	0,97	0,91	0,81	0,60	0,47	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,20	0,20
0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,41	0,43	0,46	0,52	0,60	0,72	0,81	0,88	0,94	0,98	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,09	1,08	1,07	1,04	1,01	0,96	0,89	0,80	0,68	0,58	0,50	0,45	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21
0,38	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,49	0,52	0,56	0,61	0,69	0,77	0,85	0,91	0,97	1,01	1,05	1,08	1,10	1,11	1,12	1,11	1,10	1,09	1,06	1,02	0,97	0,91	0,83	0,74	0,65	0,58	0,52	0,47	0,42	0,38	0,35	0,31	0,28	0,25	0,22
0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,52	0,56	0,59	0,64	0,70	0,76	0,83	0,89	0,95	1,01	1,05	1,08	1,11	1,13	1,14	1,15	1,15	1,13	1,11	1,08	1,05	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,65	0,58	0,53	0,48	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27	0,24
0,38	0,43	0,46	0,50	0,54	0,58	0,62	0,66	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,00	1,05	1,10	1,13	1,16	1,18	1,19	1,19	1,18	1,17	1,15	1,12	1,08	1,03	0,98	0,91	0,84	0,77	0,71	0,64	0,58	0,53	0,48	0,43	0,38	0,34	0,29	0,25
0,40	0,45	0,49	0,54	0,59	0,63	0,68	0,73	0,78	0,84	0,90	0,95	1,01	1,06	1,11	1,15	1,18	1,21	1,23	1,24	1,24	1,23	1,22	1,20	1,16	1,12	1,08	1,02	0,96	0,89	0,83	0,76	0,70	0,64	0,58	0,52	0,47	0,41	0,36	0,31	0,27
0,40	0,47	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,79	0,85	0,90	0,96	1,02	1,07	1,12	1,17	1,21	1,24	1,27	1,28	1,29	1,29	1,29	1,27	1,25	1,22	1,18	1,13	1,07	1,01	0,95	0,88	0,82	0,75	0,68	0,62	0,56	0,50	0,44	0,39	0,33	0,27
0,42	0,50	0,56	0,62	0,68	0,73	0,79	0,85	0,91	0,97	1,03	1,09	1,14	1,19	1,24	1,28	1,31	1,33	1,35	1,36	1,36	1,35	1,34	1,31	1,28	1,24	1,19	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	0,80	0,73	0,66	0,60	0,53	0,47	0,41	0,35	0,29
0,50	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,85	0,91	0,97	1,04	1,10	1,16	1,21	1,27	1,31	1,35	1,38	1,41	1,42	1,43	1,43	1,42	1,41	1,38	1,35	1,31	1,25	1,20	1,13	1,06	0,99	0,92	0,85	0,78	0,71	0,64	0,57	0,50	0,43	0,36	0,30
0,53	0,58	0,64	0,70	0,77	0,83	0,90	0,97	1,04	1,10	1,17	1,23	1,29	1,34	1,39	1,43	1,46	1,49	1,51	1,51	1,51	1,49	1,46	1,43	1,38	1,33	1,27	1,20	1,12	1,05	0,97	0,90	0,82	0,75	0,67	0,60	0,53	0,45	0,38	0,30	
0,54	0,60	0,67	0,74	0,81	0,88	0,95	1,03	1,10	1,17	1,24	1,31	1,37	1,43	1,48	1,52	1,56	1,58	1,60	1,61	1,61	1,60	1,58	1,55	1,51	1,47	1,41	1,34	1,27	1,19	1,11	1,03	0,95	0,87	0,79	0,71	0,63	0,55	0,47	0,39	0,30
0,54	0,62	0,70	0,77	0,85	0,93	1,01	1,09	1,17	1,25	1,32	1,39	1,46	1,52	1,57	1,62	1,65	1,68	1,70	1,70	1,70	1,68	1,65	1,61	1,56	1,50	1,43	1,34	1,25	1,16	1,08	0,99	0,91	0,83	0,75	0,67	0,58	0,50	0,41	0,31	
0,55	0,64	0,72	0,81	0,89	0,97	1,06	1,15	1,23	1,32	1,41	1,48	1,55	1,62	1,67	1,73	1,76	1,79	1,80	1,81	1,81	1,80	1,79	1,76	1,72	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32	1,22	1,12	1,04	0,95	0,87	0,79	0,70	0,62	0,53	0,42	0,31
0,56	0,66	0,75	0,84	0,93	1,02	1,11	1,20	1,30	1,40	1,50	1,57	1,65	1,72	1,78	1,85	1,89	1,90	1,92	1,93	1,93	1,92	1,91	1,88	1,84	1,79	1,72	1,63	1,52	1,38	1,26	1,17	1,08	0,99	0,91	0,83	0,74	0,66	0,56	0,46	0,35
0,56	0,68	0,79	0,88	0,97	1,06	1,16	1,26	1,36	1,49	1,62	1,64	1,76	1,85	1,88	1,99	2,04	2,02	2,03	2,05	2,05	2,05	2,04	2,01	1,97	1,92	1,85	1,76	1,64	1,42	1,30	1,20	1,11	1,03	0,95	0,87	0,79	0,70	0,61	0,50	0,36
0,57	0,73	0,83	0,92	1,01	1,10	1,20	1,30	1,41	1,57	1,85	1,61	1,91	2,01	1,92	2,19	2,26	2,11	2,15	2,18	2,19	2,19	2,18	2,16	2,12	2,07	2,01	1,94	1,85	1,36	1,30	1,22	1,14	1,07	0,99	0,91	0,84	0,76	0,67	0,56	0,38
0,80	0,82	0,89	0,97	1,05	1,14	1,23	1,32	1,42	1,53	1,60																														
0,82	0,87	0,93	1,01	1,09	1,17	1,26	1,35	1,43	1,51	1,58																														
0,83	0,90	0,97	1,05	1,13	1,21	1,29	1,37	1,44	1,51	1,58																														
0,85	0,93	1,00	1,08	1,16	1,24	1,31	1,39	1,46	1,53	1,58																														
0,87	0,95	1,03	1,11	1,19	1,27	1,35	1,42	1,48	1,54	1,60																														
0,89	0,98	1,07	1,15	1,23	1,31	1,38	1,45	1,51	1,57	1,62																														
0,92	1,01	1,10	1,18	1,27	1,34	1,42	1,49	1,55	1,61	1,65																														
0,95	1,04	1,13	1,22	1,31	1,39	1,46	1,53	1,59	1,65	1,70																														
0,98	1,08	1,17	1,27	1,35	1,44	1,51	1,58	1,65	1,70	1,75																														
1,01	1,12	1,22	1,31	1,40	1,49	1,57	1,64	1,70	1,76	1,81																														
1,05	1,16	1,26	1,37	1,46	1,55	1,63	1,70	1,77	1,83	1,88																														
1,08	1,20	1,32	1,42	1,52	1,62	1,70	1,78	1,84	1,89	1,97																														
1,13	1,26	1,38	1,49	1,59	1,69	1,79	1,87	1,93	1,92	1,67	3,60	3,71	3,81	3,90	3,98	4,04	4,10	4,14	4,17	4,19	4,20	4,20	4,18	4,16	4,12	4,07	4,01	3,94	1,91	1,94	1,86	1,75	1,63	1,52	1,40	1,29	1,18	1,06	0,92	0,70
1,23	1,33	1,44	1,56	1,67	1,77	1,88	1,98	2,08	2,19	2,39	3,09	3,41	3,59	3,71	3,81	3,88	3,94	3,98	4,01	4,03	4,03	4,01	3,98	3,94	3,86	3,76	3,58	3,26	2,49	2,18	1,99	1,83	1,69	1,56	1,43	1,31	1,18	1,05	0,90	0,73
1,30	1,40	1,51	1,63	1,74	1,86	1,97	2,09	2,22	2,38	2,61	2,97	3,24	3,42	3,56	3,66	3,74	3,80	3,84	3,87	3,88	3,87	3,85	3,80	3,74	3,64	3,51	3,31	3,01	2,60	2,30	2,08	1,90	1,74	1,60	1,46	1,33	1,20	1,06	0,91	0,75
1,30	1,45	1,58	1,70	1,82	1,94	2,06	2,20	2,34	2,50	2,70	2,94	3,14	3,31	3,44	3,54	3,62	3,67	3,71	3,74	3,74	3,73	3,70	3,65	3,57	3,47	3,32	3,13	2,89	2,60	2,35	2,13	1,95	1,78	1,63	1,49	1,35	1,21	1,07	0,92	0,77
1,40	1,53	1,65	1,77	1,89	2,02	2,15	2,29	2,43	2,59	2,75	2,93	3,09	3,23	3,35	3,44	3,51	3,57	3,60	3,62	3,62	3,61	3,57	3,52	3,43	3,33	3,19	3,01	2,80	2,58	2,36	2,16	1,98	1,81	1,66	1,51	1,37	1,23	1,09	0,95	0,79
1,52	1,61	1,72	1,83	1,96	2,09	2,23	2,37	2,52	2,66	2,80	2,94	3,07	3,18	3,28	3,36	3,43	3,48	3,51	3,53	3,52	3,51	3,47	3,41	3,33	3,22	3,08	2,92	2,74	2,54	2,34	2,16	1,99	1,83	1,67	1,53	1,39	1,26	1,12	0,99	0,86
1,56	1,67	1,78	1,89	2,02	2,16	2,31	2,46	2,60	2,73	2,85	2,95	3,05	3,15	3,23	3,30	3,36	3,40	3,43	3,45	3,44	3,42	3,38	3,32	3,24	3,14	3,01	2,85	2,68	2,50	2,32	2,15	1,98	1,83	1,68	1,55	1,41	1,28	1,15	1,01	0,88
1,70	1,75	1,83	1,94	2,07	2,22	2,38	2,55	2,70	2,82	2,90	2,97	3,05	3,12	3,19	3,25	3,31	3,35	3,37	3,38	3,38	3,36	3,32	3,26	3,18	3,08	2,95	2,81	2,64	2,46	2,29	2,13	1,97	1,83	1,69	1,55	1,43	1,30	1,17	1,04	0,91
1,70	1,79	1,87	1,97	2,09	2,26	2,45	2,66	2,84	2,95	2,97	2,99	3,04	3,10	3,16	3,22	3,26	3,30	3,33	3,34	3,33	3,31	3,27	3,22	3,14	3,04	2,92	2,78	2,61	2,42	2,25	2,10	1,95	1,81	1,68</						

Tablo 6.13 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 8.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,18	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,86	0,90	0,94	0,98	1,02	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,11	1,11	1,11	1,10	1,08	1,07	1,04	1,01	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	
0,37	0,35	0,35	0,34	0,34	0,34	0,35	0,36	0,38	0,41	0,50	0,74	0,86	0,93	0,98	1,02	1,05	1,08	1,10	1,11	1,12	1,12	1,11	1,10	1,08	1,06	1,01	0,94	0,80	0,48	0,35	0,29	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19
0,35	0,37	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42	0,45	0,48	0,54	0,63	0,76	0,86	0,93	0,99	1,03	1,07	1,09	1,11	1,13	1,13	1,13	1,12	1,11	1,08	1,04	0,98	0,90	0,78	0,61	0,49	0,42	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18
0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,47	0,49	0,53	0,57	0,63	0,71	0,80	0,88	0,95	1,01	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,15	1,15	1,14	1,12	1,09	1,04	0,98	0,91	0,81	0,69	0,59	0,51	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27	0,24	0,21	0,18
0,36	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,56	0,60	0,65	0,71	0,78	0,85	0,92	0,98	1,04	1,08	1,12	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,16	1,14	1,11	1,06	1,00	0,93	0,85	0,76	0,67	0,59	0,53	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,27	0,23	0,20
0,36	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,66	0,72	0,77	0,84	0,90	0,97	1,03	1,08	1,12	1,16	1,18	1,20	1,22	1,22	1,21	1,20	1,17	1,14	1,09	1,04	0,97	0,89	0,82	0,74	0,66	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,20
0,37	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62	0,67	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,13	1,17	1,20	1,23	1,25	1,26	1,26	1,26	1,24	1,21	1,18	1,13	1,08	1,02	0,95	0,87	0,80	0,73	0,66	0,60	0,54	0,48	0,43	0,37	0,32	0,27	0,23
0,37	0,44	0,50	0,56	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83	0,89	0,96	1,02	1,08	1,13	1,18	1,22	1,26	1,29	1,31	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,23	1,19	1,13	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,59	0,52	0,46	0,40	0,35	0,29	0,22
0,39	0,47	0,54	0,60	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,08	1,14	1,19	1,24	1,29	1,32	1,35	1,37	1,38	1,38	1,37	1,36	1,33	1,29	1,25	1,19	1,13	1,06	0,99	0,92	0,84	0,77	0,70	0,63	0,57	0,50	0,43	0,37	0,31	0,25
0,48	0,52	0,57	0,63	0,69	0,76	0,82	0,88	0,94	1,01	1,07	1,14	1,20	1,26	1,31	1,36	1,39	1,42	1,44	1,45	1,46	1,45	1,43	1,40	1,36	1,32	1,26	1,19	1,12	1,05	0,97	0,90	0,82	0,75	0,68	0,61	0,54	0,46	0,39	0,33	0,26
0,51	0,55	0,61	0,67	0,74	0,80	0,87	0,93	1,00	1,07	1,13	1,20	1,27	1,33	1,39	1,43	1,47	1,50	1,53	1,54	1,54	1,53	1,51	1,48	1,44	1,39	1,33	1,27	1,19	1,11	1,03	0,95	0,88	0,80	0,72	0,65	0,57	0,49	0,42	0,34	0,26
0,46	0,56	0,63	0,71	0,78	0,84	0,91	0,98	1,05	1,12	1,20	1,27	1,34	1,41	1,47	1,52	1,56	1,60	1,62	1,63	1,63	1,62	1,60	1,57	1,53	1,48	1,42	1,34	1,26	1,18	1,09	1,01	0,93	0,85	0,77	0,69	0,61	0,52	0,44	0,35	0,26
0,52	0,59	0,67	0,74	0,82	0,89	0,96	1,03	1,10	1,18	1,25	1,34	1,42	1,49	1,56	1,62	1,66	1,70	1,72	1,73	1,74	1,73	1,71	1,68	1,63	1,58	1,51	1,43	1,34	1,24	1,15	1,06	0,98	0,89	0,81	0,73	0,65	0,56	0,47	0,37	0,27
0,53	0,62	0,70	0,78	0,86	0,94	1,01	1,08	1,15	1,23	1,31	1,41	1,50	1,59	1,66	1,72	1,77	1,81	1,83	1,85	1,85	1,84	1,82	1,79	1,75	1,69	1,62	1,52	1,42	1,30	1,20	1,11	1,02	0,94	0,86	0,78	0,69	0,60	0,50	0,38	0,25
0,54	0,64	0,74	0,83	0,91	0,98	1,06	1,13	1,20	1,27	1,35	1,48	1,60	1,70	1,77	1,84	1,90	1,93	1,95	1,97	1,97	1,97	1,95	1,92	1,88	1,82	1,74	1,64	1,51	1,35	1,24	1,15	1,07	0,99	0,91	0,82	0,74	0,64	0,54	0,42	0,30
0,54	0,67	0,78	0,87	0,96	1,03	1,11	1,18	1,24	1,29	1,35	1,55	1,71	1,82	1,89	1,98	2,04	2,06	2,08	2,10	2,11	2,11	2,09	2,06	2,02	1,96	1,88	1,78	1,63	1,34	1,25	1,18	1,11	1,03	0,96	0,88	0,79	0,70	0,60	0,47	0,31
0,54	0,73	0,84	0,93	1,01	1,09	1,16	1,23	1,29	1,32	1,21	1,67	1,88	1,99	1,99	2,16	2,22	2,18	2,22	2,25	2,26	2,26	2,24	2,22	2,18	2,12	2,05	1,97	1,88	1,15	1,24	1,21	1,15	1,08	1,01	0,94	0,86	0,77	0,67	0,55	0,33
0,88	0,87	0,93	1,00	1,07	1,15	1,22	1,30	1,38	1,47	1,64																														
0,92	0,95	1,00	1,06	1,13	1,21	1,28	1,36	1,45	1,55	1,68																														
0,96	1,01	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,51	1,61	1,71																														
1,00	1,05	1,11	1,17	1,24	1,31	1,39	1,47	1,56	1,65	1,75																														
1,03	1,09	1,15	1,21	1,29	1,36	1,44	1,52	1,61	1,70	1,79																														
1,06	1,12	1,18	1,25	1,33	1,40	1,48	1,56	1,65	1,74	1,82																														
1,08	1,15	1,22	1,29	1,37	1,44	1,52	1,61	1,69	1,77	1,86																														
1,09	1,17	1,25	1,32	1,40	1,48	1,56	1,64	1,73	1,81	1,89																														
1,11	1,19	1,27	1,36	1,44	1,52	1,60	1,68	1,76	1,84	1,93																														
1,11	1,21	1,30	1,39	1,48	1,56	1,64	1,72	1,80	1,88	1,96																														
1,11	1,22	1,33	1,43	1,52	1,61	1,69	1,76	1,83	1,90	1,99																														
1,11	1,25	1,37	1,47	1,57	1,66	1,74	1,81	1,87	1,91	2,02																														
1,15	1,30	1,41	1,52	1,62	1,71	1,80	1,87	1,91	1,86	1,50	3,64	3,75	3,84	3,92	4,00	4,06	4,11	4,15	4,18	4,20	4,21	4,21	4,20	4,17	4,14	4,10	4,04	3,98	1,32	1,74	1,78	1,73	1,64	1,54	1,44	1,33	1,22	1,10	0,95	0,71
1,27	1,37	1,48	1,58	1,68	1,78	1,87	1,96	2,04	2,13	2,31	3,07	3,41	3,60	3,72	3,82	3,90	3,95	4,00	4,03	4,04	4,04	4,03	4,00	3,95	3,88	3,77	3,58	3,19	2,26	2,03	1,91	1,80	1,69	1,57	1,46	1,34	1,22	1,08	0,93	0,74
1,34	1,44	1,54	1,64	1,74	1,84	1,95	2,05	2,17	2,32	2,54	2,93	3,21	3,41	3,56	3,67	3,75	3,81	3,86	3,89	3,90	3,89	3,87	3,83	3,76	3,66	3,51	3,29	2,96	2,50	2,21	2,02	1,87	1,74	1,61	1,48	1,35	1,22	1,08	0,93	0,77
1,35	1,49	1,60	1,71	1,81	1,91	2,02	2,13	2,26	2,42	2,62	2,87	3,10	3,28	3,43	3,54	3,62	3,69	3,73	3,76	3,77	3,76	3,73	3,68	3,60	3,49	3,33	3,13	2,86	2,55	2,30	2,10	1,93	1,78	1,64	1,51	1,37	1,24	1,10	0,95	0,79
1,47	1,57	1,68	1,77	1,87	1,98	2,08	2,20	2,33	2,48	2,65	2,85	3,03	3,19	3,33	3,44	3,52	3,59	3,63	3,66	3,66	3,65	3,61	3,56	3,47	3,36	3,21	3,02	2,80	2,56	2,34	2,14	1,97	1,81	1,67	1,53	1,39	1,26	1,12	0,97	0,81
1,59	1,66	1,75	1,84	1,94	2,03	2,14	2,25	2,37	2,51	2,67	2,83	2,99	3,13	3,25	3,36	3,44	3,50	3,54	3,57	3,57	3,56	3,52	3,46	3,37	3,26	3,12	2,95	2,75	2,55	2,34	2,16	1,99	1,84	1,69	1,55	1,42	1,28	1,15	1,01	0,89
1,64	1,74	1,82	1,91	1,99	2,09	2,18	2,29	2,41	2,53	2,67	2,82	2,96	3,09	3,20	3,30	3,38	3,44	3,48	3,50	3,50	3,49	3,45	3,39	3,31	3,20	3,06	2,90	2,72	2,53	2,34	2,16	2,00	1,85	1,71	1,57	1,44	1,31	1,17	1,04	0,91
1,80	1,82	1,89	1,97	2,05	2,13	2,22	2,32	2,43	2,54	2,67	2,80	2,94	3,06	3,17	3,26	3,33	3,39	3,43	3,45	3,45	3,44	3,40	3,34	3,26	3,16	3,02	2,87	2,69	2,50	2,32	2,15	1,99	1,85	1,71	1,58	1,46	1,33	1,20	1,07	0,93
1,77	1,87	1,95	2,02	2,10	2,17	2,25	2,34	2,43	2,54	2,66	2,80	2,93	3,04	3,15	3,24	3,31	3,36	3,40	3,42	3,42	3,41	3,37	3,32	3,24	3,14	3,01	2,86	2,68	2,48	2,29	2,13	1,98	1,84</							

Tablo 6.14 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacaktan 9.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,19	0,34	0,32	0,30	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20	0,78	0,83	0,88	0,92	0,96	1,00	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08	1,08	1,07	1,06	1,04	1,02	0,99	0,95	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17
0,39	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,34	0,35	0,38	0,46	0,69	0,80	0,87	0,92	0,97	1,00	1,03	1,05	1,07	1,08	1,08	1,07	1,06	1,04	1,01	0,96	0,89	0,75	0,43	0,31	0,26	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18
0,35	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,41	0,43	0,46	0,51	0,59	0,71	0,80	0,88	0,93	0,98	1,02	1,05	1,07	1,08	1,09	1,09	1,08	1,06	1,04	1,00	0,94	0,86	0,74	0,57	0,45	0,38	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18	0,16
0,37	0,38	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,54	0,60	0,67	0,75	0,83	0,90	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,11	1,09	1,07	1,04	1,00	0,94	0,86	0,76	0,65	0,55	0,48	0,42	0,37	0,34	0,30	0,27	0,25	0,22	0,19	0,16
0,36	0,39	0,42	0,44	0,47	0,50	0,53	0,57	0,62	0,67	0,74	0,81	0,87	0,94	0,99	1,03	1,07	1,10	1,12	1,13	1,14	1,13	1,12	1,10	1,06	1,02	0,96	0,89	0,81	0,72	0,63	0,56	0,50	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,21	0,17
0,36	0,40	0,44	0,48	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92	0,98	1,03	1,07	1,11	1,14	1,16	1,17	1,17	1,17	1,15	1,13	1,09	1,05	0,99	0,93	0,85	0,78	0,70	0,63	0,56	0,51	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27	0,22	0,18
0,37	0,42	0,46	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69	0,74	0,80	0,86	0,92	0,97	1,03	1,08	1,12	1,15	1,18	1,20	1,21	1,22	1,21	1,19	1,17	1,14	1,09	1,04	0,97	0,91	0,83	0,76	0,69	0,63	0,56	0,50	0,45	0,40	0,34	0,29	0,24	0,20
0,37	0,43	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,75	0,80	0,86	0,91	0,97	1,03	1,08	1,13	1,17	1,21	1,24	1,26	1,27	1,27	1,26	1,25	1,22	1,19	1,14	1,09	1,03	0,96	0,89	0,82	0,75	0,68	0,62	0,55	0,49	0,43	0,38	0,32	0,26	0,19
0,38	0,46	0,52	0,58	0,63	0,69	0,74	0,80	0,85	0,91	0,97	1,03	1,09	1,14	1,19	1,23	1,27	1,30	1,32	1,33	1,33	1,33	1,31	1,28	1,25	1,20	1,15	1,09	1,02	0,95	0,88	0,81	0,74	0,67	0,60	0,54	0,47	0,41	0,34	0,28	0,22
0,47	0,50	0,56	0,61	0,67	0,73	0,79	0,85	0,91	0,97	1,03	1,09	1,15	1,20	1,26	1,30	1,34	1,37	1,39	1,40	1,40	1,40	1,38	1,35	1,32	1,27	1,22	1,15	1,08	1,01	0,94	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,30	0,24
0,50	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,90	0,96	1,02	1,09	1,15	1,21	1,27	1,33	1,38	1,42	1,45	1,47	1,48	1,49	1,48	1,46	1,44	1,40	1,35	1,29	1,22	1,15	1,07	1,00	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62	0,54	0,47	0,39	0,31	0,23
0,42	0,53	0,61	0,68	0,75	0,82	0,88	0,95	1,01	1,08	1,14	1,21	1,28	1,35	1,41	1,46	1,50	1,53	1,56	1,57	1,58	1,57	1,56	1,53	1,49	1,44	1,37	1,30	1,22	1,14	1,05	0,97	0,89	0,81	0,74	0,66	0,58	0,50	0,41	0,32	0,23
0,51	0,57	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93	0,99	1,06	1,13	1,20	1,28	1,36	1,43	1,49	1,55	1,59	1,63	1,66	1,68	1,68	1,66	1,63	1,59	1,53	1,47	1,39	1,30	1,20	1,11	1,02	0,94	0,86	0,78	0,70	0,62	0,53	0,44	0,34	0,24	
0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,91	0,98	1,04	1,11	1,18	1,25	1,34	1,43	1,51	1,59	1,65	1,70	1,74	1,77	1,79	1,80	1,79	1,77	1,75	1,70	1,65	1,57	1,48	1,38	1,26	1,16	1,07	0,99	0,91	0,83	0,75	0,66	0,57	0,47	0,36	0,22
0,52	0,62	0,72	0,80	0,88	0,96	1,03	1,09	1,15	1,22	1,29	1,41	1,52	1,61	1,69	1,76	1,81	1,86	1,89	1,91	1,92	1,92	1,90	1,87	1,83	1,77	1,70	1,60	1,47	1,30	1,19	1,11	1,03	0,96	0,88	0,80	0,71	0,62	0,51	0,40	0,27
0,52	0,66	0,76	0,85	0,94	1,01	1,08	1,14	1,20	1,24	1,29	1,48	1,62	1,73	1,81	1,88	1,94	1,99	2,02	2,05	2,06	2,06	2,04	2,02	1,98	1,92	1,84	1,74	1,59	1,29	1,20	1,14	1,08	1,01	0,93	0,85	0,77	0,68	0,57	0,44	0,28
0,52	0,72	0,83	0,92	0,99	1,07	1,14	1,21	1,26	1,27	1,13	1,61	1,76	1,86	1,93	2,01	2,07	2,13	2,17	2,20	2,21	2,21	2,20	2,17	2,14	2,08	2,02	1,94	1,85	1,07	1,19	1,18	1,12	1,06	0,99	0,91	0,83	0,75	0,65	0,53	0,30
0,88	0,86	0,92	0,98	1,06	1,13	1,21	1,28	1,36	1,45	1,62																														
0,92	0,94	0,99	1,05	1,12	1,19	1,27	1,35	1,44	1,54	1,68																														
0,95	0,99	1,04	1,11	1,18	1,25	1,33	1,42	1,51	1,61	1,73																														
0,98	1,03	1,09	1,16	1,23	1,30	1,39	1,47	1,57	1,67	1,78																														
1,01	1,07	1,13	1,20	1,27	1,35	1,44	1,52	1,62	1,72	1,82																														
1,03	1,10	1,16	1,24	1,31	1,40	1,48	1,57	1,66	1,76	1,86																														
1,05	1,12	1,20	1,27	1,35	1,44	1,52	1,61	1,70	1,80	1,90																														
1,07	1,14	1,22	1,30	1,39	1,47	1,56	1,65	1,74	1,83	1,93																														
1,08	1,16	1,25	1,34	1,42	1,51	1,59	1,68	1,77	1,86	1,96																														
1,08	1,18	1,27	1,37	1,46	1,54	1,63	1,71	1,80	1,89	1,99																														
1,09	1,20	1,30	1,40	1,49	1,58	1,66	1,74	1,82	1,90	2,01																														
1,09	1,22	1,34	1,44	1,54	1,62	1,70	1,77	1,83	1,88	2,03																														
1,12	1,27	1,38	1,49	1,58	1,67	1,75	1,82	1,85	1,77	1,31	3,61	3,71	3,80	3,88	3,95	4,01	4,06	4,09	4,12	4,14	4,15	4,14	4,13	4,10	4,07	4,02	3,97	3,90	1,13	1,66	1,73	1,69	1,61	1,51	1,41	1,31	1,20	1,08	0,94	0,71
1,24	1,34	1,44	1,54	1,64	1,73	1,82	1,90	1,98	2,05	2,21	3,01	3,35	3,55	3,68	3,77	3,85	3,90	3,94	3,97	3,99	3,99	3,97	3,94	3,89	3,81	3,70	3,50	3,11	2,15	1,95	1,85	1,75	1,65	1,54	1,43	1,31	1,19	1,06	0,92	0,74
1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,89	1,99	2,10	2,24	2,46	2,86	3,15	3,36	3,51	3,62	3,70	3,76	3,81	3,84	3,85	3,84	3,82	3,77	3,70	3,60	3,45	3,22	2,89	2,42	2,14	1,96	1,82	1,69	1,57	1,45	1,33	1,20	1,07	0,92	0,77
1,33	1,46	1,57	1,67	1,76	1,86	1,96	2,07	2,20	2,35	2,55	2,81	3,04	3,23	3,38	3,49	3,58	3,64	3,69	3,71	3,72	3,71	3,68	3,63	3,55	3,43	3,27	3,06	2,79	2,48	2,23	2,04	1,88	1,73	1,60	1,47	1,34	1,21	1,08	0,94	0,79
1,45	1,55	1,64	1,73	1,82	1,92	2,02	2,13	2,26	2,41	2,59	2,78	2,97	3,14	3,28	3,39	3,48	3,54	3,59	3,61	3,62	3,61	3,57	3,51	3,42	3,31	3,15	2,96	2,74	2,50	2,27	2,08	1,91	1,76	1,62	1,49	1,36	1,23	1,10	0,96	0,80
1,57	1,63	1,71	1,79	1,88	1,97	2,07	2,18	2,30	2,44	2,60	2,77	2,93	3,08	3,21	3,31	3,40	3,46	3,51	3,53	3,54	3,52	3,48	3,42	3,33	3,22	3,07	2,90	2,70	2,49	2,28	2,10	1,93	1,78	1,64	1,51	1,38	1,25	1,13	1,00	0,89
1,62	1,70	1,78	1,85	1,94	2,02	2,11	2,22	2,33	2,46	2,60	2,75	2,90	3,03	3,15	3,26	3,34	3,40	3,44	3,47	3,47	3,46	3,42	3,36	3,27	3,16	3,02	2,85	2,67	2,47	2,28	2,10	1,94	1,79	1,65	1,52	1,40	1,27	1,15	1,03	0,91
1,78	1,79	1,84	1,91	1,98	2,06	2,15	2,24	2,35	2,46	2,60	2,74	2,88	3,01	3,12	3,22	3,30	3,36	3,40	3,42	3,43	3,41	3,38	3,32	3,24	3,13	2,99	2,83	2,65	2,45	2,26	2,08	1,93	1,79	1,66	1,53	1,41	1,29	1,18	1,06	0,93
1,73	1,83	1,89	1,96	2,03	2,09	2,17	2,25	2,34	2,45	2,58	2,73	2,87	3,00	3,11	3,20	3,28	3,34	3,38	3,40	3,41	3,39	3,36	3,31	3,23	3,13	3,00	2,83	2,												

0.22	0.35	0.33	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.61	0.68	0.74	0.79	0.84	0.87	0.91	0.93	0.95	0.97	0.97	0.98	0.97	0.96	0.94	0.91	0.88	0.84	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17		
0.39	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.36	0.38	0.44	0.59	0.68	0.75	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.96	0.97	0.98	0.98	0.96	0.95	0.92	0.87	0.81	0.69	0.42	0.32	0.27	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16
0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.45	0.48	0.54	0.63	0.71	0.77	0.82	0.87	0.91	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99	0.98	0.97	0.94	0.91	0.86	0.78	0.68	0.54	0.44	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.15
0.38	0.38	0.40	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.52	0.56	0.62	0.68	0.75	0.80	0.86	0.90	0.93	0.96	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00	0.98	0.95	0.92	0.86	0.79	0.71	0.61	0.53	0.46	0.41	0.37	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.16
0.37	0.39	0.42	0.44	0.47	0.49	0.52	0.55	0.59	0.63	0.68	0.74	0.79	0.85	0.89	0.93	0.97	1.00	1.02	1.03	1.04	1.03	1.02	1.00	0.98	0.94	0.89	0.82	0.75	0.67	0.60	0.53	0.48	0.43	0.38	0.34	0.31	0.27	0.23	0.20	0.15	0.15
0.37	0.41	0.44	0.47	0.50	0.54	0.57	0.61	0.65	0.69	0.74	0.79	0.84	0.89	0.94	0.98	1.01	1.04	1.06	1.07	1.07	1.07	1.06	1.04	1.01	0.97	0.92	0.86	0.80	0.73	0.66	0.60	0.54	0.48	0.43	0.39	0.34	0.30	0.26	0.21	0.16	0.16
0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.94	0.99	1.02	1.06	1.08	1.10	1.11	1.12	1.11	1.10	1.08	1.05	1.01	0.96	0.91	0.85	0.78	0.72	0.65	0.59	0.54	0.48	0.43	0.38	0.33	0.28	0.23	0.18	0.18
0.38	0.44	0.49	0.53	0.57	0.62	0.66	0.71	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.04	1.08	1.11	1.14	1.16	1.17	1.17	1.17	1.17	1.15	1.13	1.10	1.06	1.01	0.96	0.90	0.84	0.77	0.71	0.65	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.30	0.24	0.16
0.40	0.46	0.51	0.56	0.61	0.66	0.71	0.75	0.80	0.85	0.91	0.96	1.01	1.05	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.23	1.23	1.23	1.21	1.19	1.16	1.12	1.07	1.02	0.96	0.89	0.83	0.76	0.70	0.63	0.57	0.51	0.45	0.39	0.32	0.26	0.20	
0.47	0.50	0.54	0.59	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.91	0.96	1.01	1.07	1.12	1.16	1.20	1.24	1.26	1.29	1.30	1.30	1.28	1.26	1.23	1.19	1.14	1.08	1.02	0.95	0.88	0.81	0.75	0.68	0.61	0.55	0.48	0.41	0.35	0.28	0.20	0.23	
0.49	0.52	0.57	0.63	0.68	0.74	0.79	0.85	0.90	0.96	1.01	1.07	1.13	1.18	1.23	1.27	1.31	1.34	1.36	1.38	1.38	1.36	1.34	1.30	1.26	1.21	1.15	1.08	1.01	0.94	0.87	0.80	0.73	0.66								

Tablo 6.16 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacadan 11.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0.29	0.34	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.41	0.49	0.56	0.62	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.81	0.81	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.65	0.60	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15
0.37	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.42	0.44	0.48	0.54	0.59	0.64	0.69	0.73	0.76	0.78	0.80	0.81	0.81	0.81	0.79	0.77	0.74	0.69	0.64	0.56	0.41	0.35	0.32	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.17	0.15
0.37	0.38	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.46	0.48	0.50	0.54	0.59	0.63	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.81	0.82	0.82	0.81	0.80	0.77	0.74	0.70	0.64	0.58	0.49	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15
0.39	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.56	0.60	0.63	0.67	0.71	0.75	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84	0.84	0.83	0.81	0.79	0.76	0.72	0.67	0.61	0.55	0.49	0.44	0.40	0.37	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.19	0.16
0.39	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.65	0.68	0.72	0.75	0.78	0.81	0.83	0.85	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.81	0.78	0.74	0.70	0.65	0.59	0.54	0.50	0.45	0.41	0.38	0.34	0.31	0.27	0.24	0.20	0.17
0.41	0.43	0.45	0.47	0.50	0.52	0.55	0.57	0.60	0.63	0.66	0.69	0.73	0.76	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.89	0.90	0.89	0.88	0.87	0.84	0.81	0.78	0.73	0.69	0.64	0.59	0.54	0.50	0.45	0.41	0.37	0.33	0.29	0.25	0.21	0.17
0.42	0.44	0.47	0.50	0.53	0.56	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77	0.81	0.84	0.86	0.89	0.91	0.92	0.93	0.93	0.92	0.90	0.88	0.85	0.81	0.77	0.73	0.68	0.63	0.59	0.54	0.49	0.45	0.41	0.36	0.32	0.27	0.23	0.18	
0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.59	0.62	0.65	0.69	0.72	0.75	0.79	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.92	0.89	0.86	0.82	0.77	0.73	0.68	0.63	0.58	0.53	0.49	0.44	0.39	0.34	0.29	0.24	0.18
0.44	0.48	0.51	0.55	0.59	0.62	0.66	0.69	0.73	0.76	0.80	0.83	0.87	0.90	0.93	0.96	0.99	1.01	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	1.00	0.97	0.94	0.91	0.87	0.82	0.77	0.72	0.67	0.62	0.57	0.52	0.47	0.42	0.36	0.31	0.26	0.20
0.48	0.50	0.54	0.58	0.61	0.65	0.69	0.73	0.77	0.81	0.84	0.88	0.92	0.95	0.99	1.02	1.04	1.06	1.08	1.09	1.09	1.08	1.07	1.06	1.03	1.00	0.96	0.92	0.87	0.82	0.77	0.72	0.66	0.61	0.56	0.50	0.45	0.39	0.33	0.28	0.23
0.49	0.52	0.56	0.60	0.64	0.69	0.73	0.77	0.81	0.85	0.89	0.93	0.97	1.01	1.04	1.08	1.10	1.13	1.14	1.15	1.15	1.15	1.14	1.12	1.09	1.06	1.02	0.98	0.93	0.87	0.82	0.76	0.71	0.65	0.59	0.53	0.48	0.41	0.35	0.29	0.23
0.44	0.52	0.58	0.63	0.67	0.72	0.76	0.81	0.85	0.89	0.94	0.98	1.02	1.07	1.10	1.14	1.17	1.19	1.21	1.22	1.22	1.22	1.21	1.19	1.16	1.13	1.09	1.04	0.98	0.92	0.87	0.81	0.75	0.69	0.63	0.57	0.51	0.44	0.37	0.30	0.23
0.50	0.54	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.89	0.94	0.98	1.03	1.08	1.13	1.17	1.21	1.24	1.27	1.29	1.30	1.30	1.30	1.29	1.27	1.24	1.20	1.16	1.10	1.04	0.98	0.91	0.85	0.79	0.73	0.67	0.61	0.54	0.47	0.40	0.32	0.24
0.50	0.56	0.62	0.68	0.74	0.79	0.84	0.89	0.93	0.98	1.03	1.08	1.13	1.19	1.24	1.28	1.32	1.35	1.37	1.38	1.39	1.38	1.36	1.33	1.29	1.24	1.18	1.11	1.03	0.96	0.90	0.84	0.77	0.71	0.64	0.57	0.50	0.42	0.34	0.25	
0.51	0.58	0.65	0.71	0.77	0.83	0.88	0.93	0.97	1.02	1.06	1.13	1.19	1.25	1.31	1.36	1.41	1.44	1.46	1.48	1.48	1.48	1.47	1.45	1.42	1.38	1.33	1.26	1.18	1.07	1.00	0.94	0.88	0.82	0.75	0.69	0.61	0.54	0.45	0.36	0.27
0.52	0.61	0.68	0.75	0.81	0.87	0.92	0.98	1.02	1.05	1.08	1.17	1.26	1.33	1.39	1.45	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	1.59	1.58	1.56	1.53	1.49	1.44	1.36	1.26	1.08	1.03	0.98	0.93	0.87	0.80	0.73	0.66	0.58	0.50	0.40	0.27
0.52	0.65	0.73	0.79	0.86	0.92	0.97	1.03	1.07	1.10	1.03	1.22	1.34	1.40	1.47	1.54	1.67	1.63	1.67	1.69	1.70	1.70	1.69	1.68	1.65	1.61	1.56	1.50	1.43	0.96	1.05	1.03	0.98	0.92	0.85	0.78	0.71	0.63	0.55	0.45	0.29
0.73	0.73	0.78	0.84	0.90	0.96	1.03	1.09	1.15	1.22	1.34																														
0.74	0.78	0.83	0.88	0.95	1.01	1.08	1.15	1.22	1.30	1.40																														
0.76	0.81	0.86	0.92	0.99	1.06	1.13	1.20	1.28	1.37	1.46																														
0.77	0.83	0.89	0.96	1.03	1.10	1.17	1.25	1.33	1.42	1.51																														
0.79	0.85	0.92	0.99	1.07	1.14	1.22	1.30	1.38	1.47	1.56																														
0.80	0.88	0.95	1.02	1.10	1.18	1.26	1.34	1.42	1.51	1.60																														
0.82	0.90	0.97	1.05	1.13	1.21	1.29	1.38	1.46	1.55	1.65																														
0.83	0.92	1.00	1.08	1.16	1.25	1.33	1.41	1.50	1.59	1.68																														
0.85	0.94	1.02	1.11	1.20	1.28	1.36	1.45	1.53	1.62	1.72																														
0.86	0.96	1.05	1.14	1.23	1.32	1.40	1.48	1.57	1.65	1.75																														
0.87	0.98	1.08	1.17	1.26	1.35	1.44	1.51	1.59	1.67	1.78																														
0.89	1.00	1.11	1.21	1.30	1.39	1.48	1.55	1.61	1.67	1.80																														
0.91	1.04	1.15	1.25	1.35	1.44	1.52	1.60	1.64	1.60	1.24	3.30	3.35	3.40	3.45	3.49	3.52	3.55	3.57	3.59	3.61	3.61	3.62	3.62	3.61	3.60	3.58	3.56	3.54	1.14	1.56	1.60	1.55	1.46	1.36	1.25	1.15	1.03	0.91	0.79	0.65
0.98	1.09	1.20	1.30	1.40	1.49	1.59	1.67	1.75	1.84	2.00	2.72	3.02	3.17	3.27	3.33	3.38	3.42	3.45	3.47	3.48	3.48	3.48	3.46	3.43	3.38	3.30	3.15	2.82	2.00	1.81	1.71	1.61	1.50	1.40	1.28	1.17	1.05	0.93	0.80	0.67
1.04	1.14	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.87	2.00	2.22	2.57	2.82	3.00	3.11	3.20	3.26	3.30	3.34	3.36	3.36	3.36	3.35	3.32	3.27	3.19	3.08	2.90	2.61	2.21	1.97	1.81	1.68	1.55	1.43	1.32	1.20	1.08	0.95	0.83	0.69
1.07	1.19	1.30	1.40	1.51	1.61	1.71	1.83	1.95	2.10	2.28	2.51	2.72	2.87	2.99	3.08	3.15	3.20	3.23	3.25	3.26	3.25	3.23	3.19	3.13	3.04	2.92	2.75	2.53	2.27	2.05	1.88	1.73	1.60	1.47	1.35	1.23	1.10	0.98	0.85	0.72
1.15	1.26	1.36	1.46	1.56	1.66	1.77	1.88	2.01	2.15	2.31	2.49	2.65	2.79	2.90	2.99	3.06	3.11	3.14	3.16	3.17	3.16	3.13	3.09	3.02	2.93	2.81	2.66	2.48	2.28	2.09	1.92	1.77	1.64	1.51	1.38	1.26	1.13	1.01	0.88	0.75
1.25	1.33	1.42	1.51	1.61	1.71	1.82	1.93	2.05	2.18	2.33	2.47	2.61	2.73	2.84	2.92	2.99	3.04	3.07	3.09	3.09	3.08	3.05	3.00	2.94	2.85	2.74	2.60	2.44	2.27	2.11	1.95	1.80	1.67	1.54	1.41	1.29	1.17	1.04	0.92	0.80
1.28	1.38	1.47	1.57	1.66	1.76	1.86	1.97	2.09	2.21	2.33	2.46	2.59	2.70	2.79	2.87	2.93	2.98	3.01	3.03	3.03	3.02	2.99	2.94	2.88	2.79	2.69	2.56	2.42	2.27	2.11	1.97	1.83	1.69	1.57	1.44	1.32	1.20	1.07	0.95	0.82
1.37	1.44	1.52	1.62	1.71	1.80	1.90	2.00	2.11	2.22	2.34	2.46	2.57	2.68	2.76	2.84	2.89	2.94	2.97	2.98	2.98	2.97	2.94	2.90	2.84	2.76	2.66	2.54	2.40	2.26	2.11	1.97	1.84	1.71	1.59	1.47	1.35	1.23	1.11	0.98	0.86
1.34	1.47	1.57	1.66	1.75	1.85	1.94	2.03	2.13	2.24	2.35	2.46	2.57	2.67	2.75	2.82	2.87	2.91	2.94	2.95	2.95	2.94	2.91	2.87	2.81	2.74	2.65	2.53	2.40	2.25	2.11	1.97	1.85	1.73	1.6						

Tablo 6.17 Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 4 A ve bacadan 12.5 cm yükseklik için hesaplanan potansiyel değerleri

0,40	0,36	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,51	0,52	0,54	0,58	0,25	0,32	0,38	0,44	0,48	0,52	0,55	0,57	0,58	0,58	0,58	0,56	0,54	0,50	0,46	0,41	0,35	0,28	0,53	0,44	0,41	0,38	0,38	0,34	0,32	0,31	0,30	0,19	0,13	0,13
0,33	0,38	0,44	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,51	0,42	0,42	0,45	0,48	0,52	0,54	0,57	0,58	0,59	0,59	0,59	0,57	0,55	0,53	0,49	0,46	0,42	0,41	0,46	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	0,33	0,31	0,28	0,22	0,17	0,13
0,38	0,41	0,44	0,47	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,52	0,49	0,49	0,50	0,53	0,55	0,57	0,59	0,60	0,61	0,61	0,61	0,59	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48	0,47	0,47	0,46	0,44	0,42	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28	0,23	0,19	0,16
0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,61	0,59	0,57	0,54	0,52	0,51	0,50	0,48	0,46	0,44	0,41	0,39	0,35	0,32	0,29	0,25	0,21	0,18
0,42	0,45	0,47	0,50	0,52	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51	0,49	0,46	0,43	0,40	0,37	0,34	0,30	0,26	0,22	0,19
0,46	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,58	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,69	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	0,19
0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,59	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,41	0,37	0,33	0,29	0,24	0,20
0,48	0,50	0,52	0,55	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,60	0,57	0,54	0,50	0,47	0,43	0,39	0,34	0,30	0,25	0,20
0,50	0,52	0,54	0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,67	0,64	0,61	0,57	0,53	0,49	0,45	0,41	0,36	0,32	0,27	0,22
0,50	0,53	0,55	0,58	0,61	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,85	0,84	0,82	0,79	0,77	0,74	0,71	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,43	0,38	0,34	0,29	0,25
0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,66	0,69	0,72	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,92	0,92	0,90	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
0,50	0,54	0,58	0,61	0,65	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,83	0,80	0,76	0,72	0,68	0,63	0,58	0,53	0,48	0,42	0,37	0,31	0,25
0,50	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02	1,03	1,04	1,05	1,05	1,04	1,02	1,01	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,81	0,76	0,72	0,67	0,61	0,56	0,50	0,45	0,39	0,33	0,26
0,50	0,56	0,61	0,65	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,89	0,92	0,93	0,95	0,98	1,00	1,03	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,01	0,98	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,71	0,65	0,59	0,53	0,47	0,41	0,35	0,30
0,51	0,57	0,62	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,91	0,95	0,97	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,12	1,14	1,17	1,18	1,19	1,19	1,18	1,17	1,14	1,11	1,08	1,03	0,99	0,96	0,91	0,86	0,81	0,75	0,69	0,63	0,56	0,50	0,43	0,37	0,30
0,53	0,59	0,65	0,70	0,75	0,80	0,86	0,91	0,96	1,02	1,06	0,98	1,01	1,06	1,09	1,13	1,18	1,22	1,25	1,27	1,28	1,28	1,27	1,25	1,22	1,19	1,14	1,09	1,05	1,02	0,97	0,92	0,86	0,79	0,73	0,66	0,59	0,52	0,45	0,38	0,30
0,54	0,61	0,67	0,73	0,78	0,83	0,89	0,95	1,02	1,10	1,26	0,89	1,01	1,12	1,12	1,19	1,25	1,30	1,33	1,36	1,37	1,37	1,36	1,34	1,31	1,27	1,21	1,15	1,07	1,12	1,04	0,98	0,91	0,84	0,77	0,70	0,62	0,55	0,48	0,40	0,31
0,62	0,65	0,70	0,75	0,81	0,86	0,92	0,98	1,05	1,12	1,19																														
0,63	0,68	0,73	0,78	0,84	0,89	0,95	1,01	1,07	1,14	1,20																														
0,65	0,70	0,75	0,81	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,15	1,21																														
0,66	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,06	1,12	1,18	1,23																														
0,67	0,73	0,79	0,85	0,91	0,97	1,03	1,09	1,15	1,20	1,25																														
0,68	0,74	0,81	0,87	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18	1,23	1,28																														
0,69	0,76	0,82	0,89	0,96	1,03	1,09	1,16	1,22	1,27	1,32																														
0,70	0,77	0,84	0,92	0,99	1,06	1,13	1,19	1,26	1,31	1,36																														
0,70	0,78	0,86	0,94	1,02	1,09	1,17	1,24	1,30	1,36	1,41																														
0,71	0,79	0,88	0,97	1,05	1,13	1,21	1,28	1,35	1,41	1,47																														
0,71	0,81	0,90	0,99	1,09	1,17	1,26	1,34	1,41	1,47	1,53																														
0,71	0,82	0,93	1,03	1,12	1,22	1,31	1,40	1,48	1,54	1,59																														
0,72	0,84	0,95	1,06	1,16	1,27	1,37	1,46	1,56	1,63	1,63	2,99	3,03	3,06	3,09	3,11	3,14	3,16	3,17	3,19	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	3,19	3,18	3,17	3,15	1,91	1,77	1,64	1,52	1,40	1,29	1,17	1,05	0,93	0,81	0,69	0,60
0,76	0,88	0,99	1,10	1,21	1,32	1,42	1,54	1,66	1,80	2,02	2,53	2,75	2,86	2,93	2,98	3,02	3,05	3,07	3,08	3,09	3,09	3,09	3,08	3,06	3,03	2,98	2,88	2,68	2,19	1,93	1,75	1,60	1,47	1,34	1,21	1,09	0,96	0,84	0,72	0,60
0,79	0,91	1,03	1,14	1,25	1,36	1,48	1,60	1,73	1,89	2,10	2,38	2,58	2,71	2,80	2,86	2,91	2,95	2,97	2,99	2,99	2,99	2,98	2,97	2,93	2,89	2,81	2,69	2,51	2,24	2,01	1,83	1,67	1,52	1,39	1,25	1,13	1,00	0,87	0,75	0,62
0,83	0,95	1,07	1,18	1,30	1,41	1,53	1,65	1,79	1,94	2,12	2,31	2,47	2,60	2,69	2,76	2,82	2,85	2,88	2,90	2,90	2,90	2,89	2,86	2,83	2,77	2,69	2,58	2,42	2,23	2,05	1,88	1,72	1,57	1,43	1,30	1,16	1,03	0,91	0,78	0,65
0,88	1,00	1,11	1,23	1,34	1,46	1,57	1,70	1,82	1,96	2,11	2,26	2,40	2,52	2,61	2,68	2,74	2,78	2,80	2,82	2,82	2,82	2,80	2,78	2,74	2,68	2,60	2,50	2,38	2,23	2,07	1,92	1,76	1,62	1,47	1,33	1,20	1,07	0,94	0,81	0,70
0,95	1,05	1,16	1,27	1,39	1,50	1,62	1,73	1,85	1,98	2,11	2,24	2,36	2,46	2,55	2,62	2,67	2,71	2,74	2,75	2,76	2,75	2,73	2,70	2,66	2,61	2,54	2,46	2,35	2,23	2,10	1,95	1,80	1,65	1,51	1,37	1,23	1,10	0,97	0,84	0,71
0,97	1,09	1,20	1,32	1,43	1,55	1,65	1,76	1,88	1,99	2,11	2,22	2,33	2,42	2,50	2,57	2,62	2,66	2,69	2,70	2,70	2,69	2,67	2,64	2,60	2,55	2,49	2,43	2,35	2,25	2,13	1,99	1,84	1,69	1,54	1,40	1,26	1,12	0,99	0,87	0,73
0,98	1,12	1,25	1,37	1,48	1,59	1,69	1,80	1,90	2,00	2,11	2,21	2,31	2,40	2,48	2,54	2,59	2,63	2,65	2,66	2,66	2,64	2,62	2,59	2,55	2,50	2,46	2,41	2,36	2,30	2,19	2,04	1,89	1,73	1,57	1,42	1,28	1,15	1,02	0,90	0,79
0,99	1,16	1,31	1,43	1,54	1,64	1,74	1,83	1,92	2,01	2,11	2,21	2,30	2,39	2,46	2,52	2,57	2,60	2,62	2,63	2,62	2,61	2,58	2,54	2,50	2,46	2,42	2,40	2,40	2,38	2,28	2,11	1,9								

BÖLÜM VII

Kaçak Akı Dağılımlarının Çizimi ve Karşılaştırılması

Elde edilen bu sonuçları irdeleyebilmek ve birbirleriyle karşılaştırabilmek için en iyi yöntem akı dağılımlarının çizilmesidir. Bunun için önce toplam akı çizgisi sayısı belirlenmiş, daha sonra çözüm bölgesindeki en küçük vektörel potansiyel değeri ile en büyük vektörel potansiyel değeri arasındaki fark alınmış ve bu fark belirlenen akı çizgisi sayısına bölünerek, akı çizgileri arasındaki vektörel potansiyel fark bulunmuştur. En küçük vektörel potansiyel değerden başlayarak fark kadar artırılarak diğer vektörel eşpotansiyel noktaları tesbit edilmiştir. Bu işlem baktan 5,5 cm; 6,5 cm; 7,5 cm; 8,5 cm; 9,5 cm; 10,5 cm; 11,5 cm ve 12,5 cm yükseklikteki tüm yüzeyler için gerçekleştirilmiştir. Tesbit edilen tüm vektörel eşpotansiyel noktaların tüm yüksekliklerdeki (x ; y) koordinatları belirlenmiş ve aynı değerdeki noktalar birleştirilerek akı dağılımının çizimi gerçekleştirilmiştir.

Örnek Hesaplama:

Her bir yüzey için elde edilmiş olan Tablo [(5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9)]'daki eşpotansiyel değerlerin en küçük vektörel potansiyel değeri ile en büyük vektörel potansiyel değeri arasındaki fark belirlenir. Bu tablolar incelendiğinde ölçülen en büyük vektörel potansiyel değeri 1,98 mV, en küçük vektörel potansiyel değeri ise 0,11 mV tur. Potansiyeller arasındaki fark

$$1,98 - 0,11 = 1,87 \text{ mV}$$

tur. Bu fark belirlenen akı çizgisi sayısına bölünerek akı çizgileri arasındaki vektörel potansiyel fark bulunur ve bu farka potansiyel çizgileri arasındaki potansiyel fark denir. Belirlenen akı çizgisi sayısı 10 olsun, bu durumda

Potansiyel çizgileri arasındaki, potansiyel farkı $= 1,87/10 = 0,187\text{mV}$ tur.

Tablo 7.1 Belirlenen akı çizgilerine karşılık gelen potansiyel değerleri

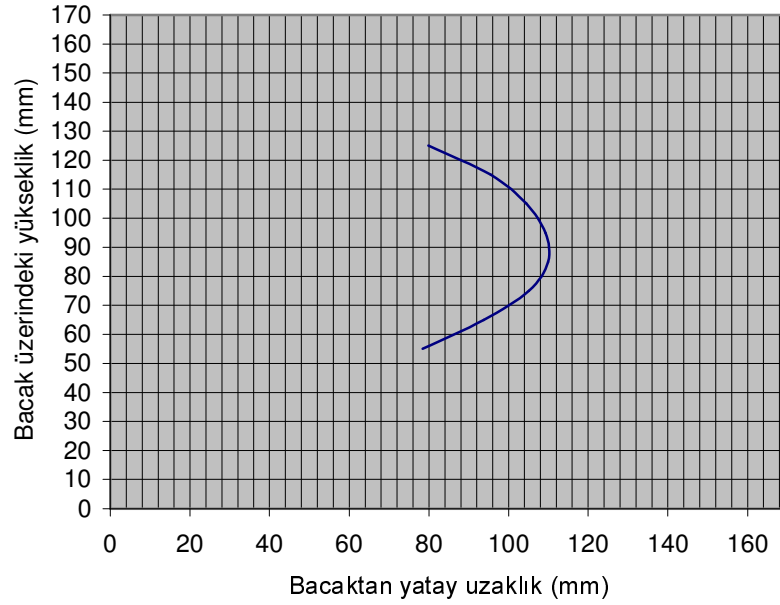
Belirlenen akı çizgilerine karşılık gelen eş potansiyeller	1,98 mV
	1,793 mV
	1,606 mV
	1,419 mV
	1,232 mV
	1,045 mV
	0,858 mV
	0,671 mV
	0,484 mV
	0,297 mV
	0,11 mV

Her bir yüzeyde bu vektörel potansiyel değerlerin karşılık geldiği noktaların koordinatları tespit edilir ve bu koordinatlar yüzeyler arasında birleştirilerek akı dağılımı çizilir. Örneğin (20-25) ile (20-41) koordinatlarında 0,671 mV'un tekabül ettiği koordinatların yüzeylere göre dağılımı aşağıdaki gibidir.

Tablo 7.2 0,671 mV'luk eş potansiyel çizginin üzerinden geçtiği koordinatlar.

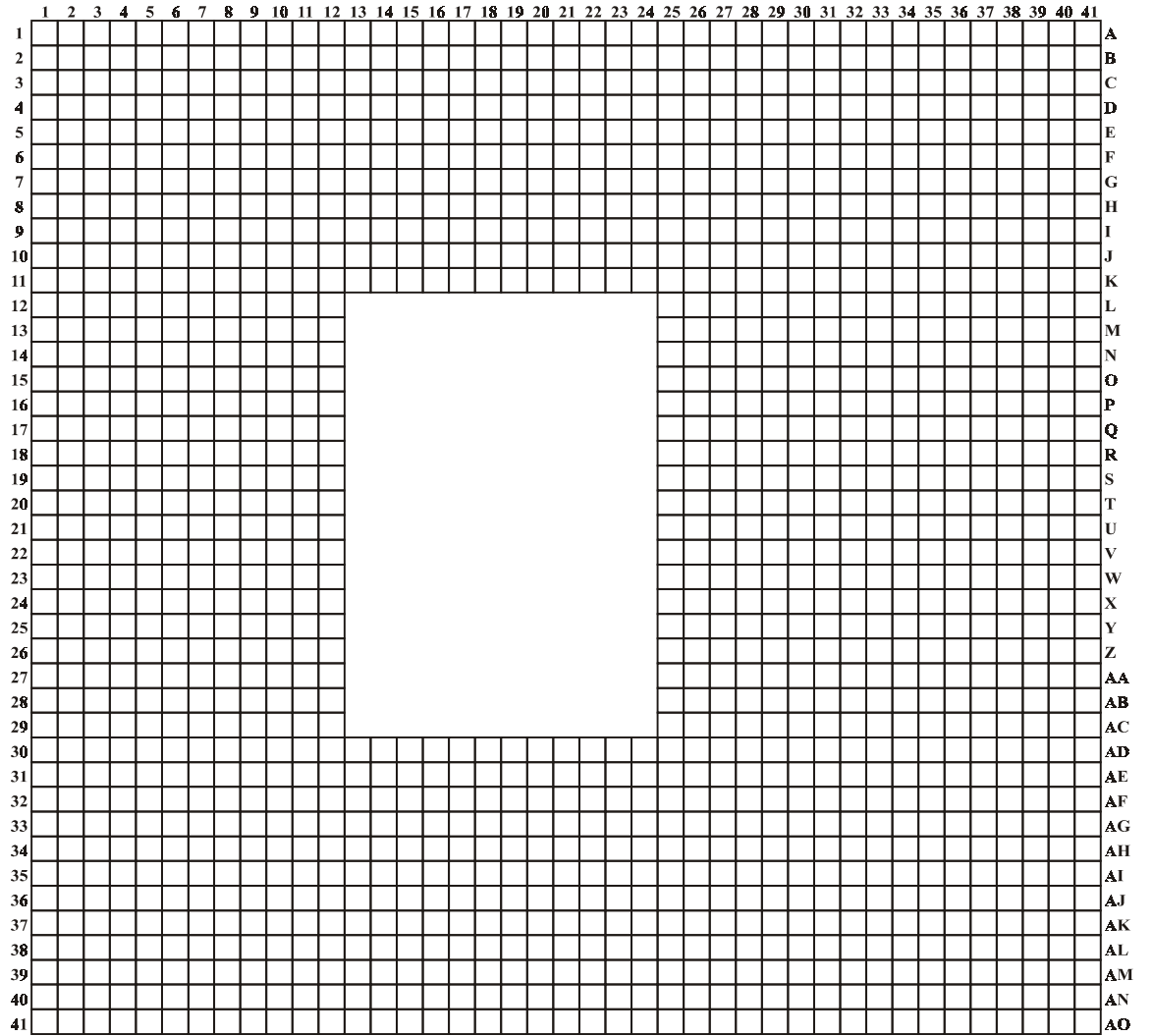
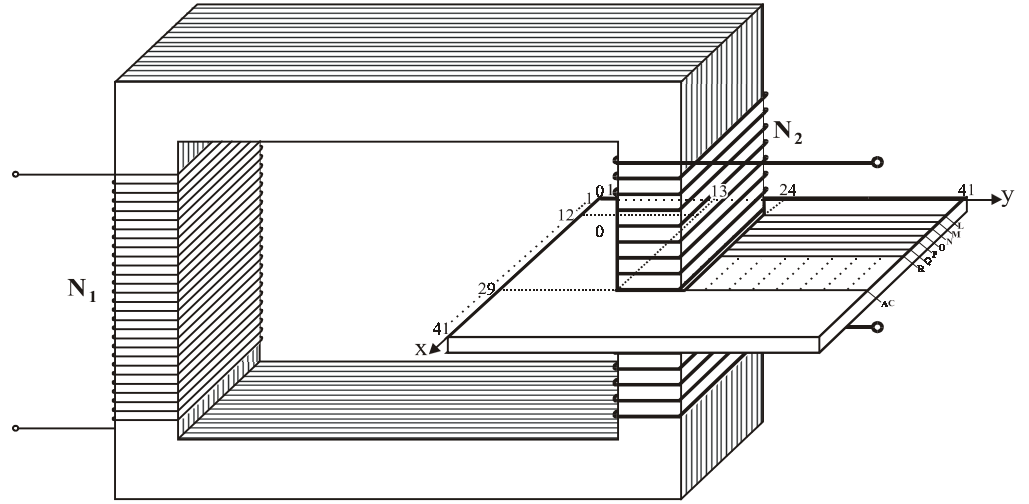
y (mm)	x (mm)
55	78,40548
65	93,79579
75	105,0735
85	108,5843
95	109,2579
105	104,4287
115	95,5032
125	79,86375

Bu sonuca göre akı dağılımı çizildiğinde Şekil 7.1'deki dağılım elde edilir.

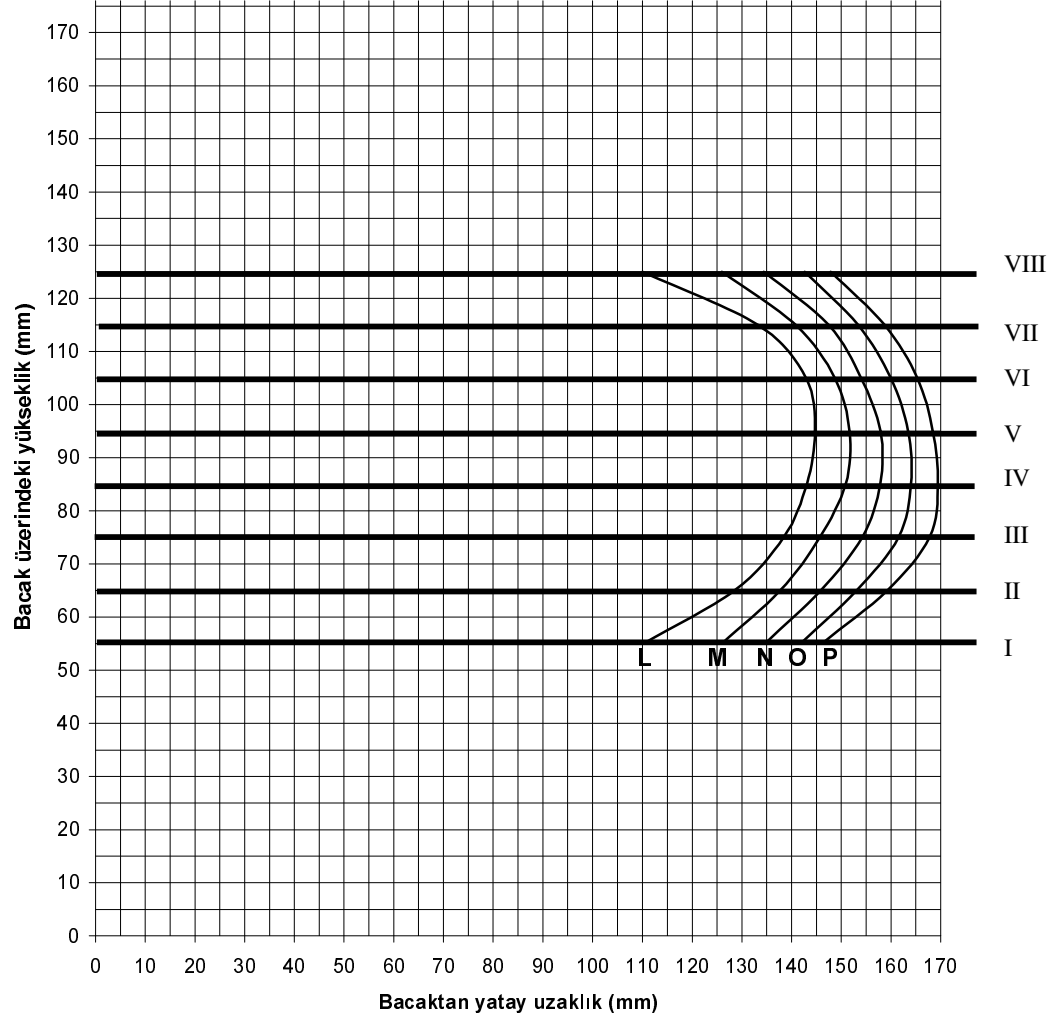


Şekil 7.1. Örnek hesaplama için kaçak akı dağılımı

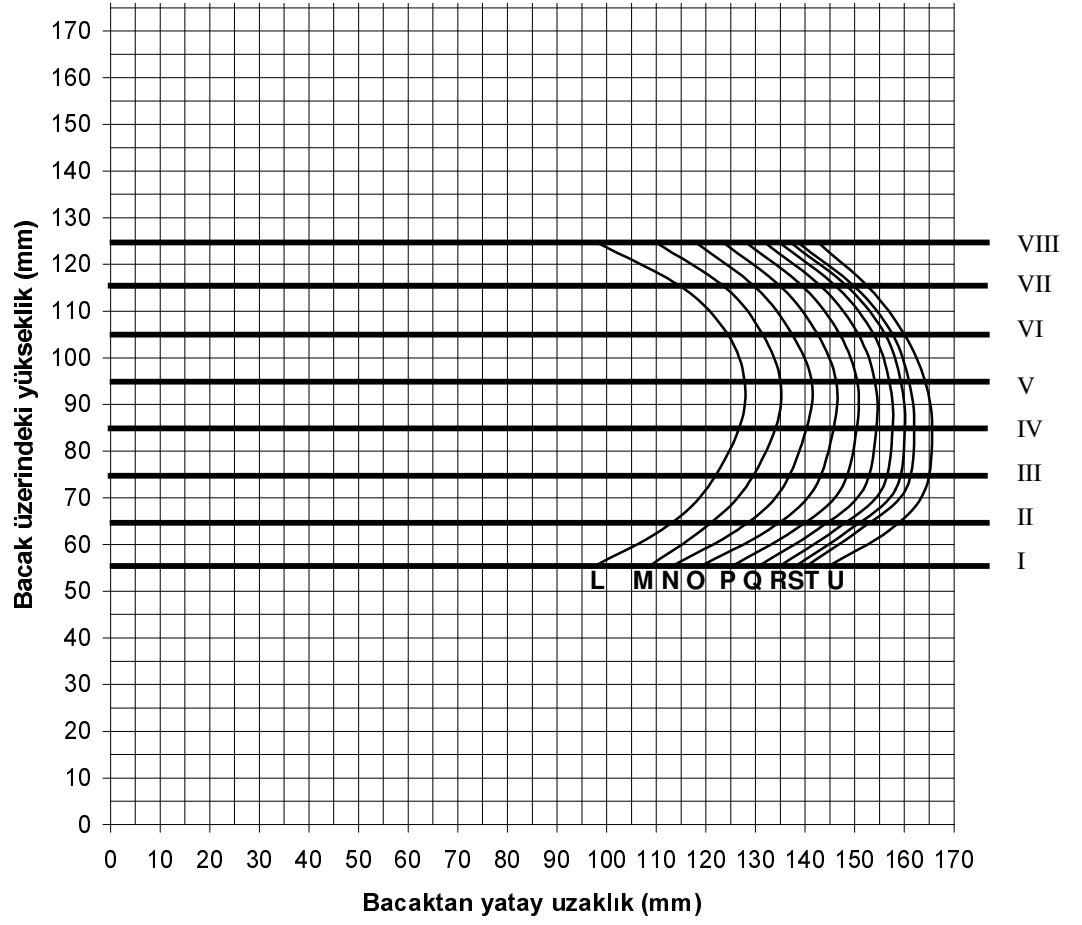
Ölçü bobinlerinin yerleştirildiği kartonun satır ve sütunları Şekil 7.2 deki gibi nitelendirilmiştir. Değişik eş potansiyel değerleri için Şekil 7.2'de gösterilen $L_{25}-L_{41}$, $M_{25}-M_{41}$, $N_{25}-N_{41}$, $O_{25}-O_{41}$, $P_{25}-P_{41}$, $Q_{25}-Q_{41}$, $R_{25}-R_{41}$, $S_{25}-S_{41}$, $T_{25}-T_{41}$, $U_{25}-U_{41}$, $V_{25}-V_{41}$, $W_{25}-W_{41}$ sütunlarına ait çizilen akı dağılımları, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5 Şekil 7.6 Şekil 7.7 ve şekil 7.8'de görülmektedir. Grafikler üzerinde kaçak akı dağılımlarının ait olduğu sütunlar ve ölçümlerin yapıldığı yükseklikler belirtilmiştir gösterilmiştir.



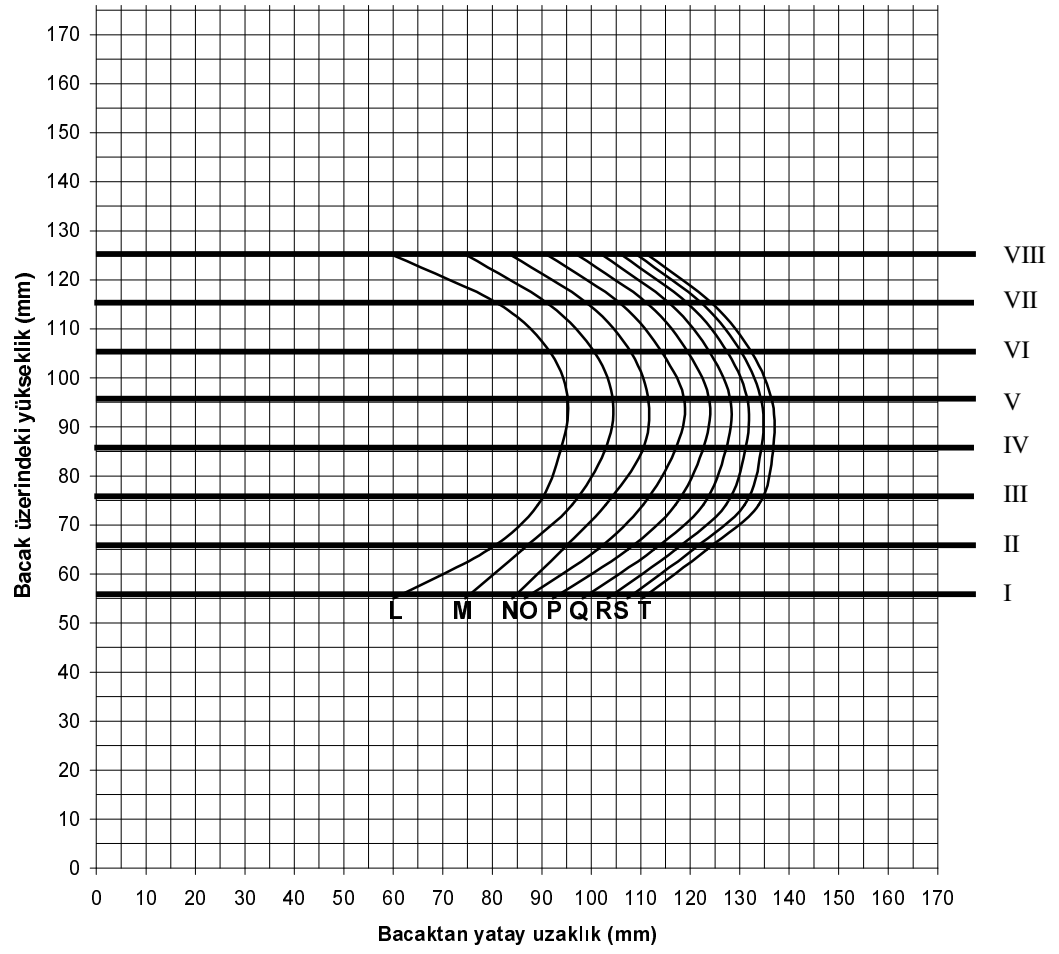
Şekil 7.2 Ölçü bobinlerinin (a) karton üzerinde numaralandırılmış konumları ve (b) kartonun transformatör bacağı üzerindeki yerleşimi.



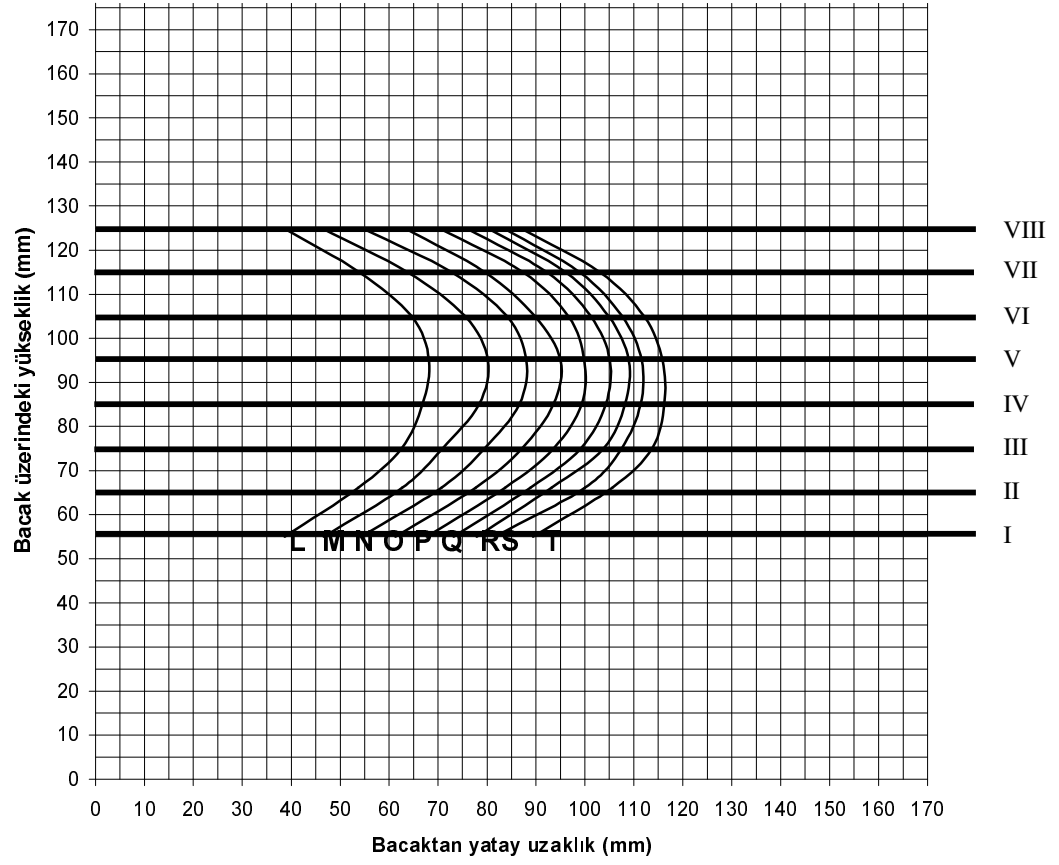
Şekil 7.3. Ölçüm sonuçlarına göre 0,3864 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



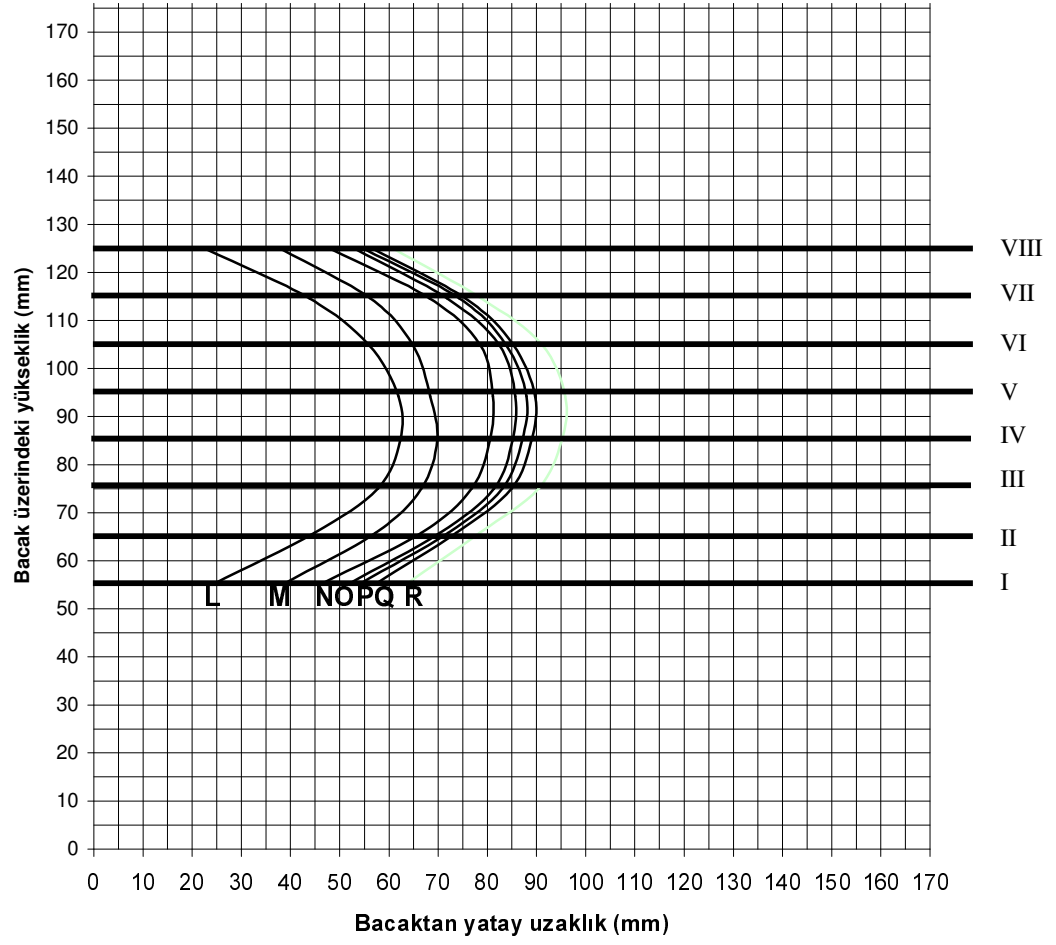
Şekil 7.4. Ölçüm sonuçlarına göre 0,4746 mVluk luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



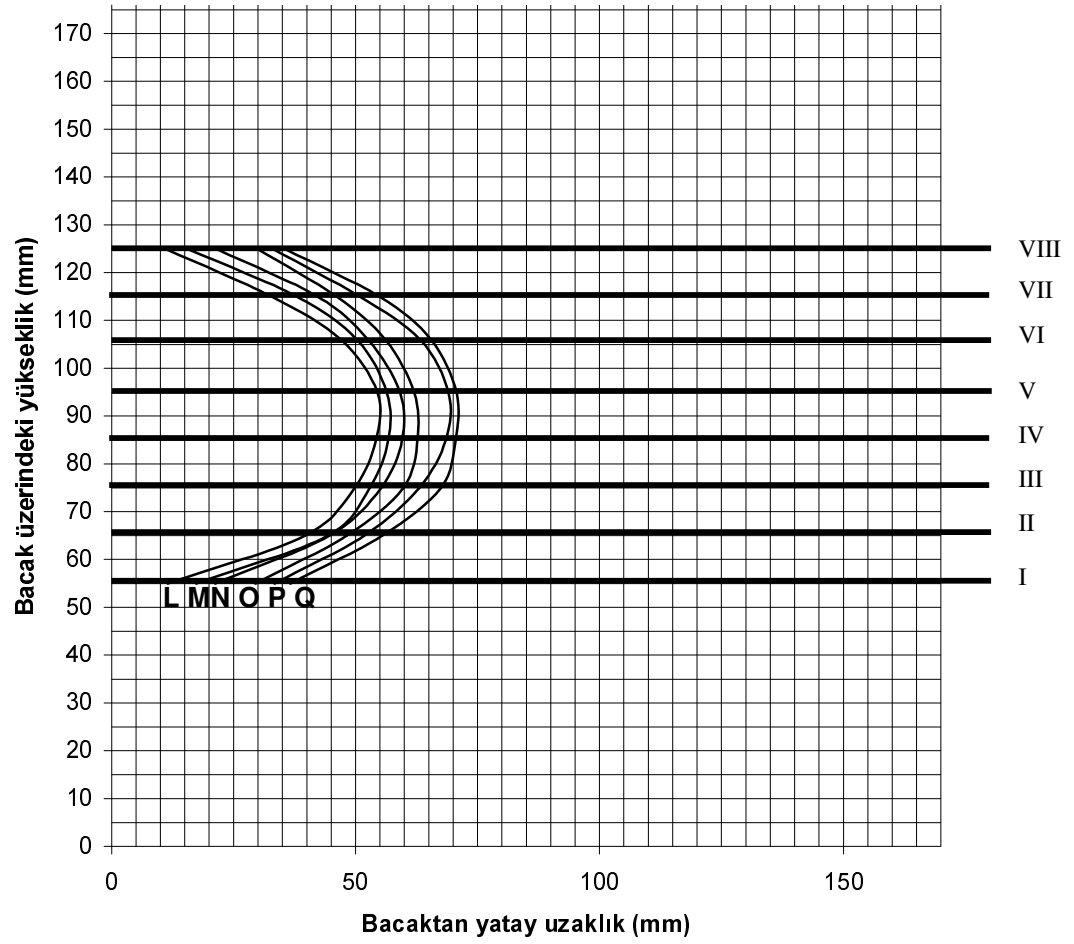
Şekil 7.5. Ölçüm sonuçlarına göre 0,5628 mVluk luk potansiyel değerine karşılık gelen $2.54 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



Şekil 7.6. Ölçüm sonuçlarına göre 0,651 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,93 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



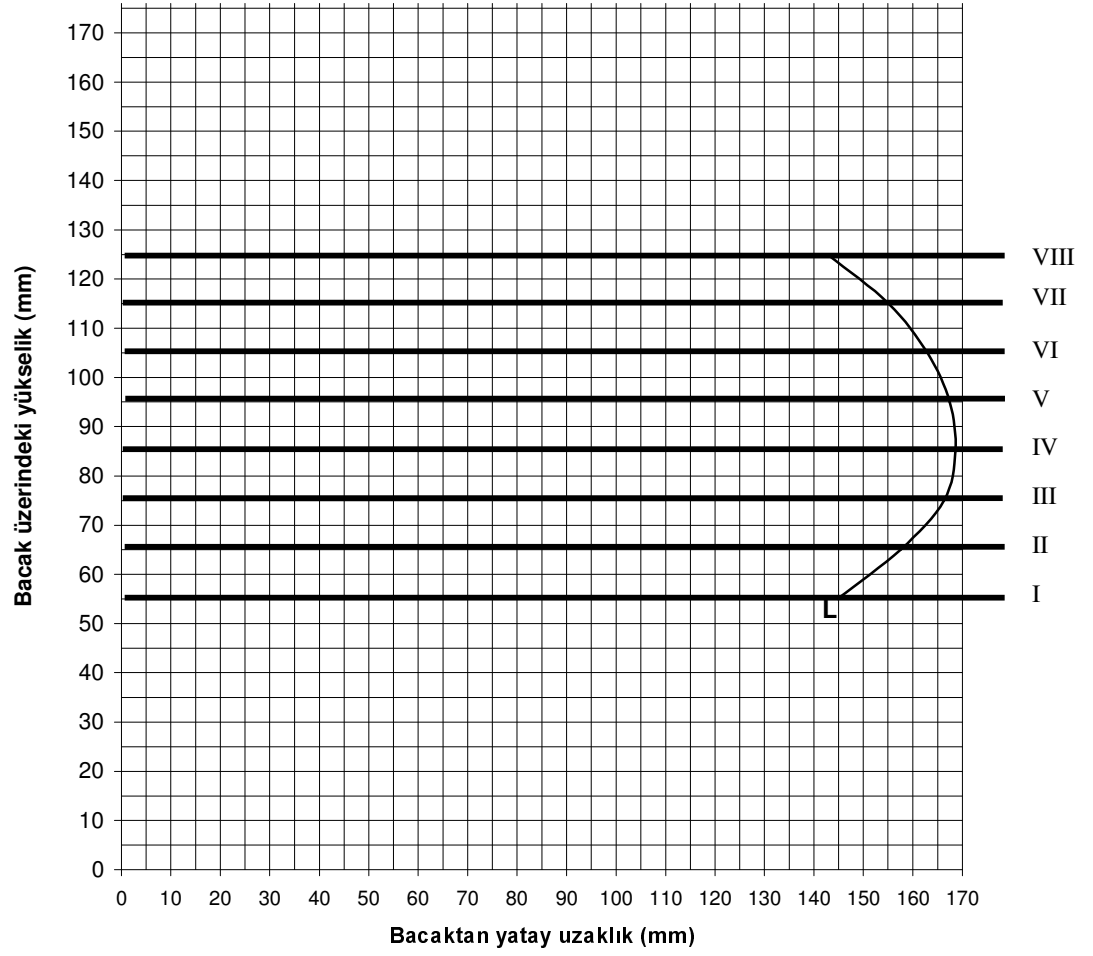
Şekil 7.7. Ölçüm sonuçlarına göre 0,7392 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,33 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



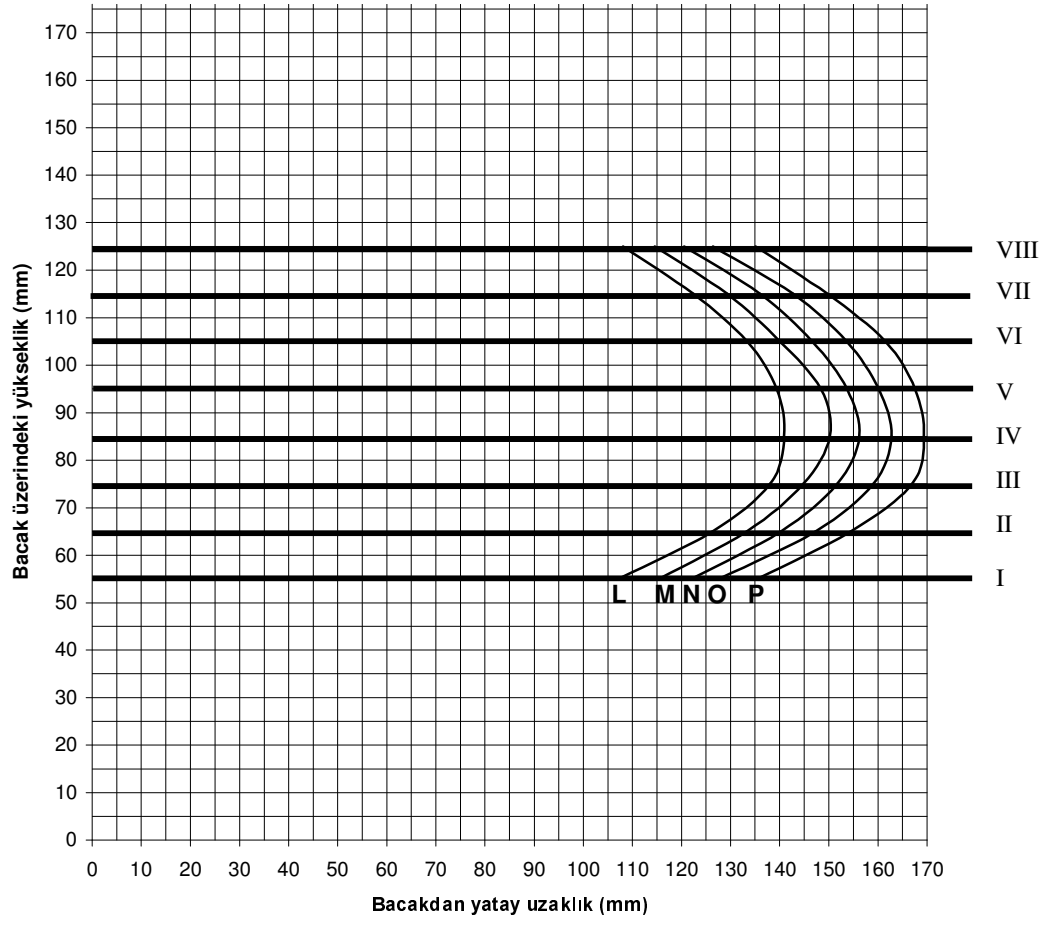
Şekil 7.8. Ölçüm sonuçlarına göre 0,8274 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,73 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.

Ölçüm sonuçlarına göre çizilen kaçak akı dağılımı için yapılan işlemleri sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemine göre hesaplanan değerler için de uygulamak ve bu değerleri kullanarak akı dağılımlarını çizmek mümkündür.

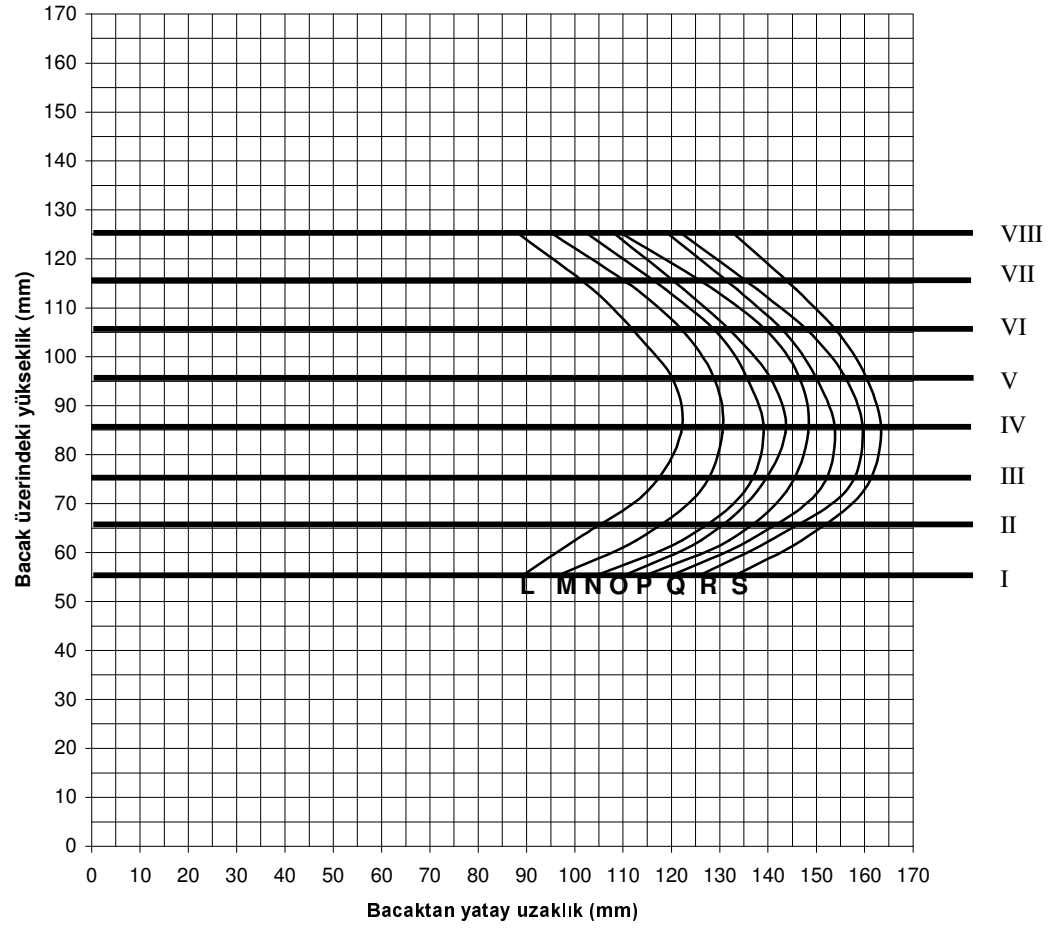
Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15 de sonlu farklar yöntemi kullanılarak, şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18'de ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanan değerlere göre çizilen kaçak akı dağılımları görülmektedir.



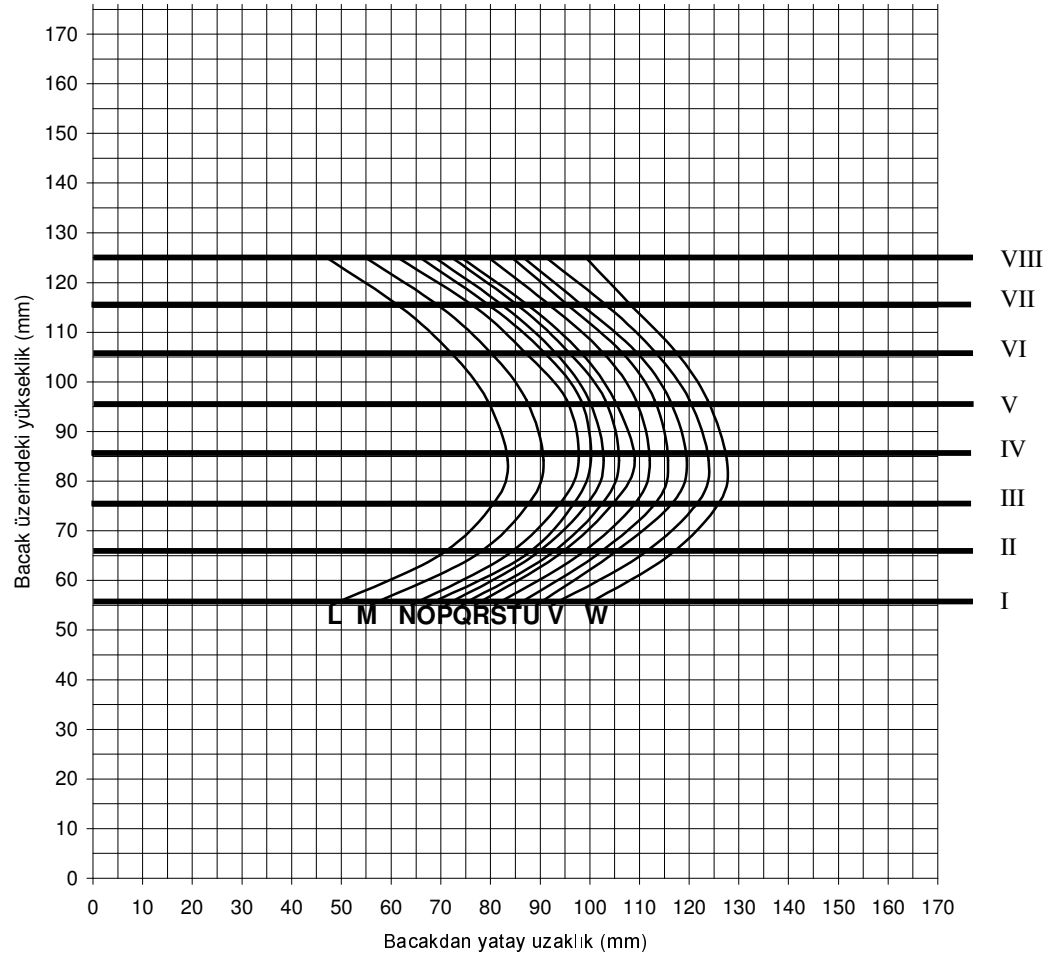
Şekil 7.9. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,298 mVluk luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,34 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımı.



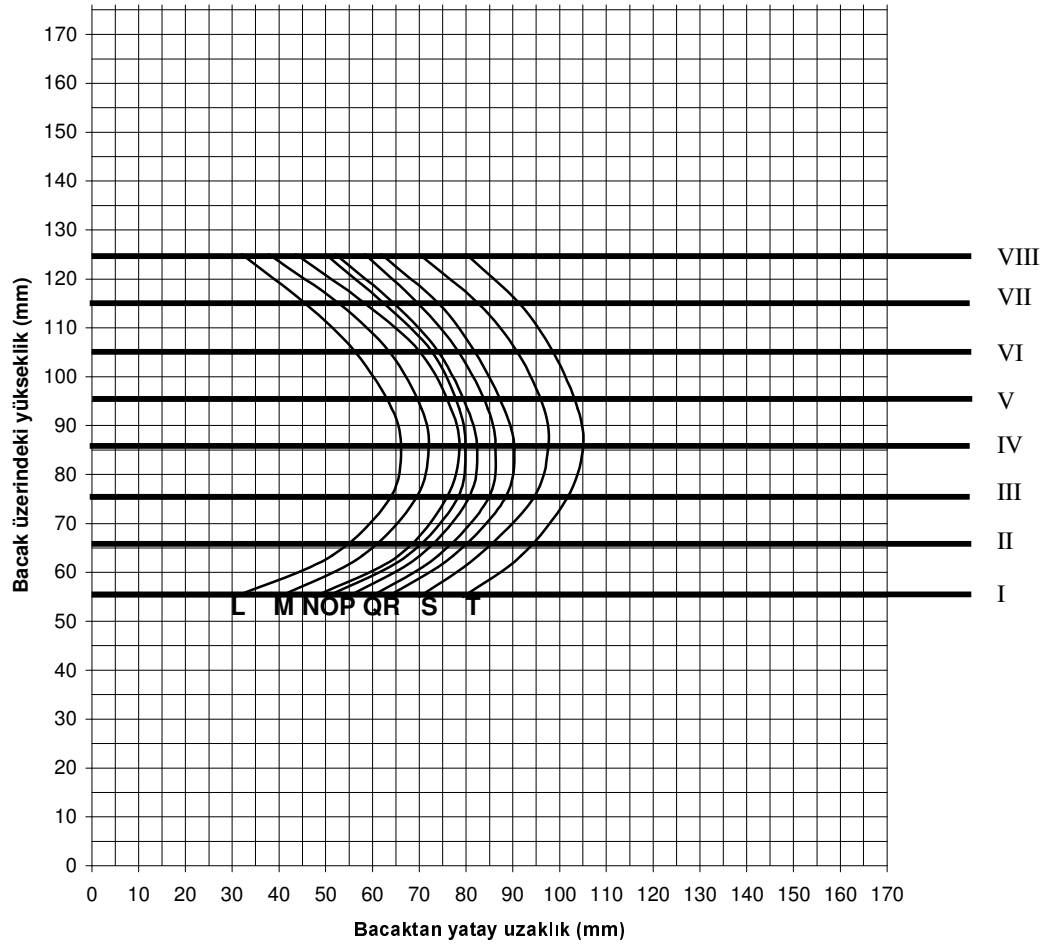
Şekil 7.10. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,386 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



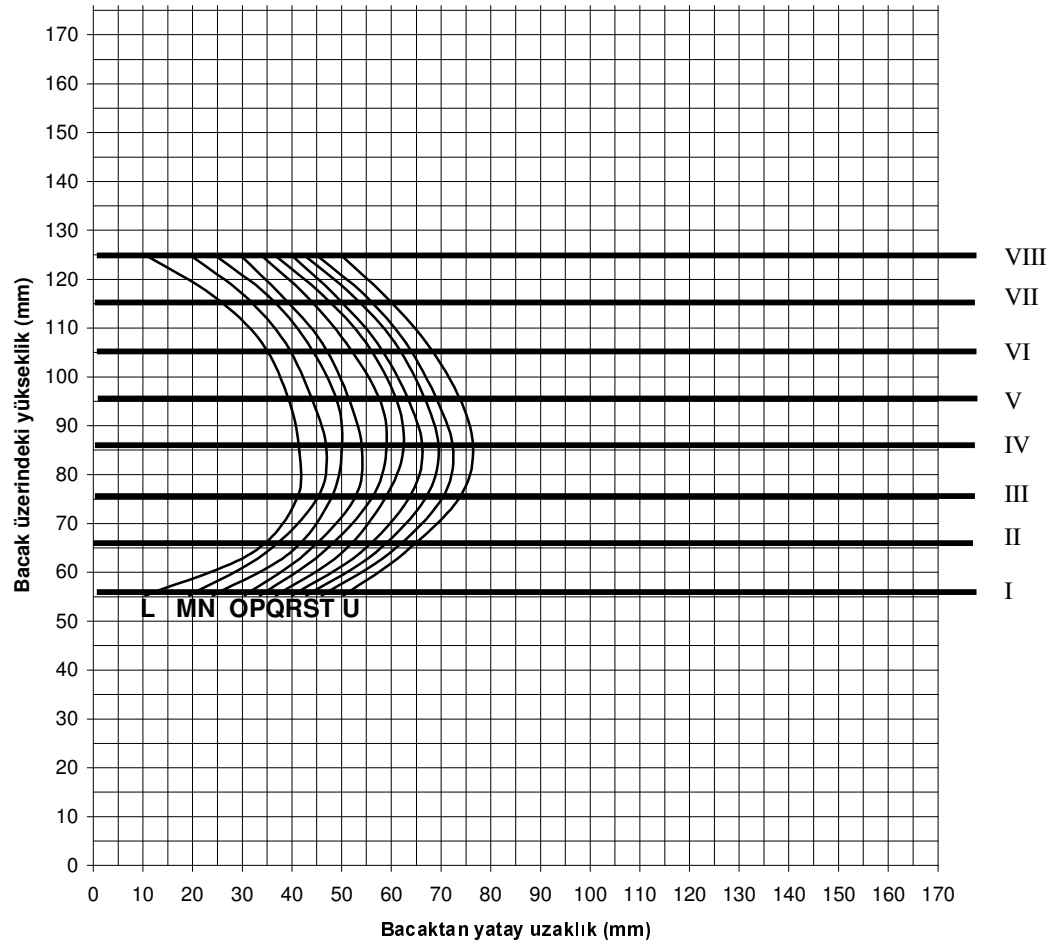
Şekil 7.11. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



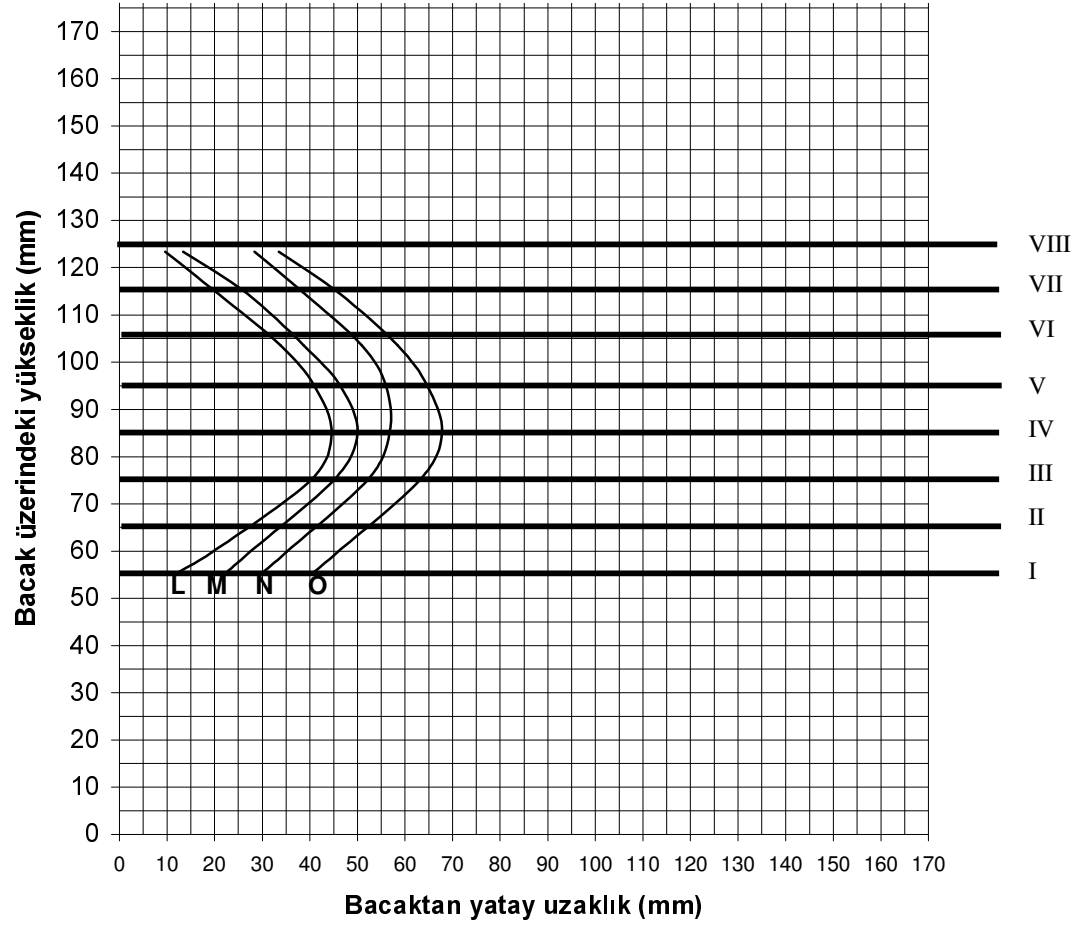
Şekil 7.12. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,562 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,53 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



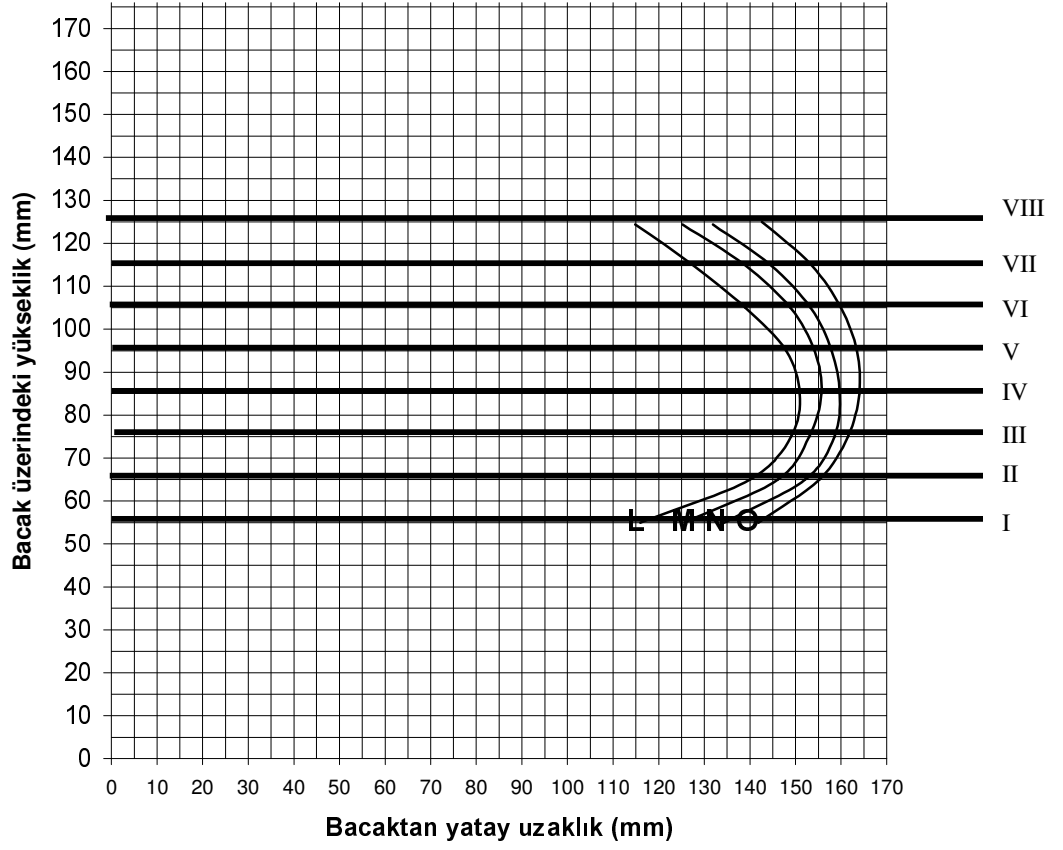
Şekil 7.13. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,65 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,93 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



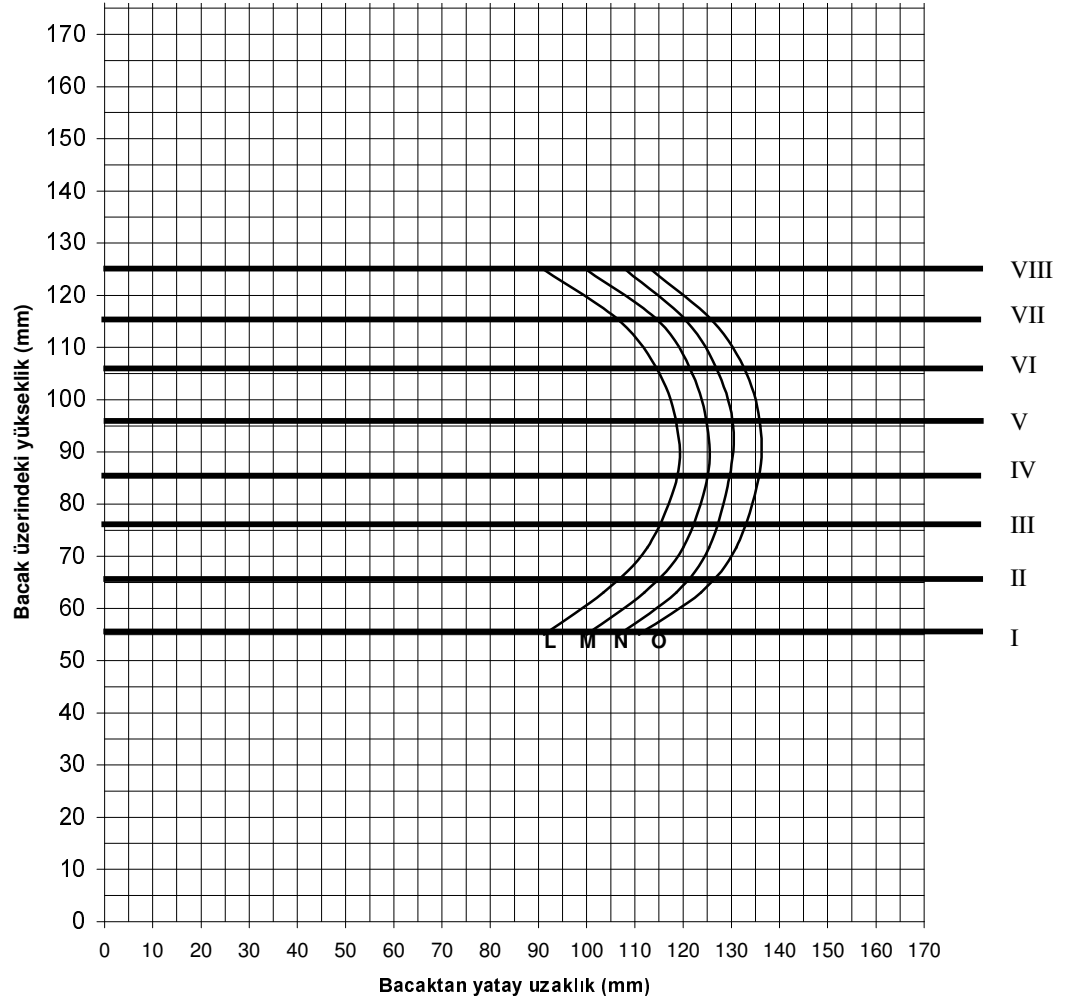
Şekil 7.14. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,738 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,32 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



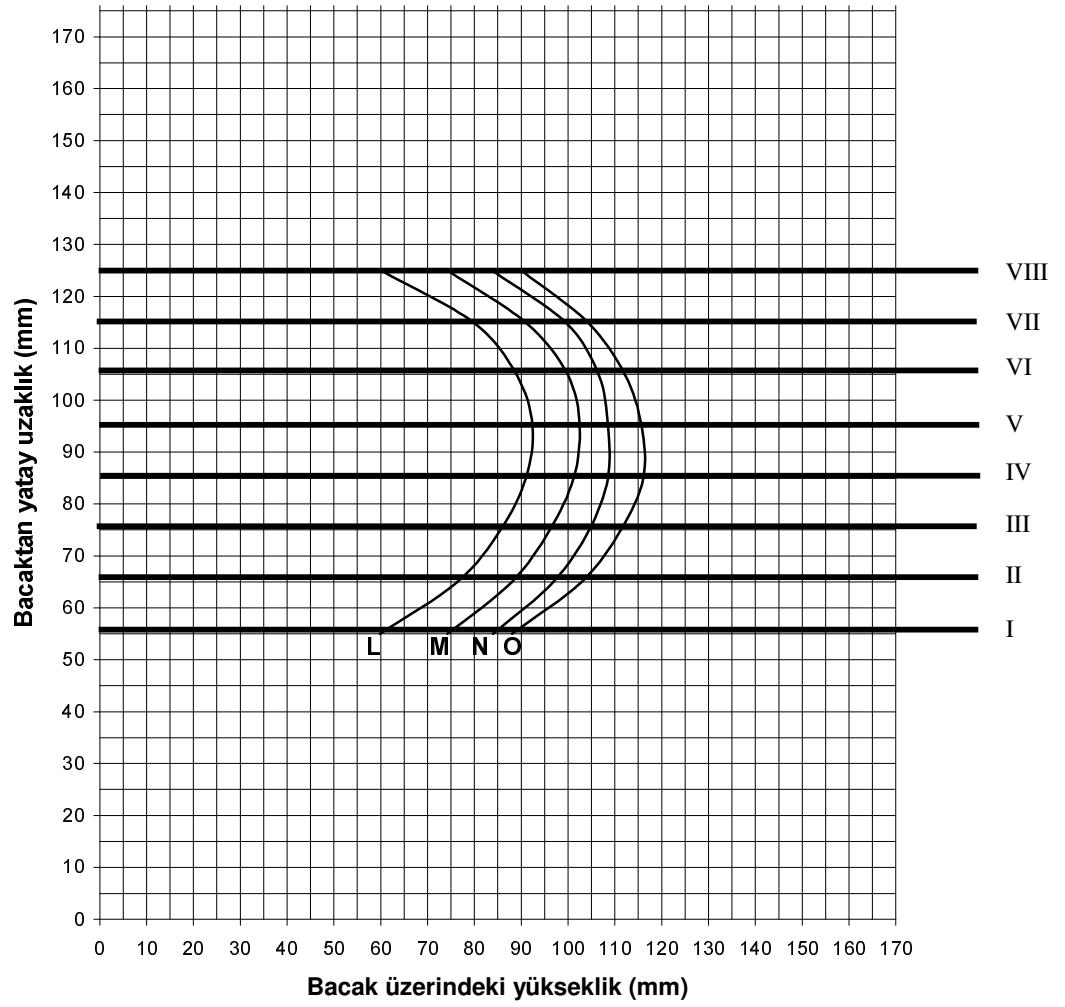
Şekil 7.15. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,826 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $3,72 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



Şekil 7.16. . Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,3864 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.

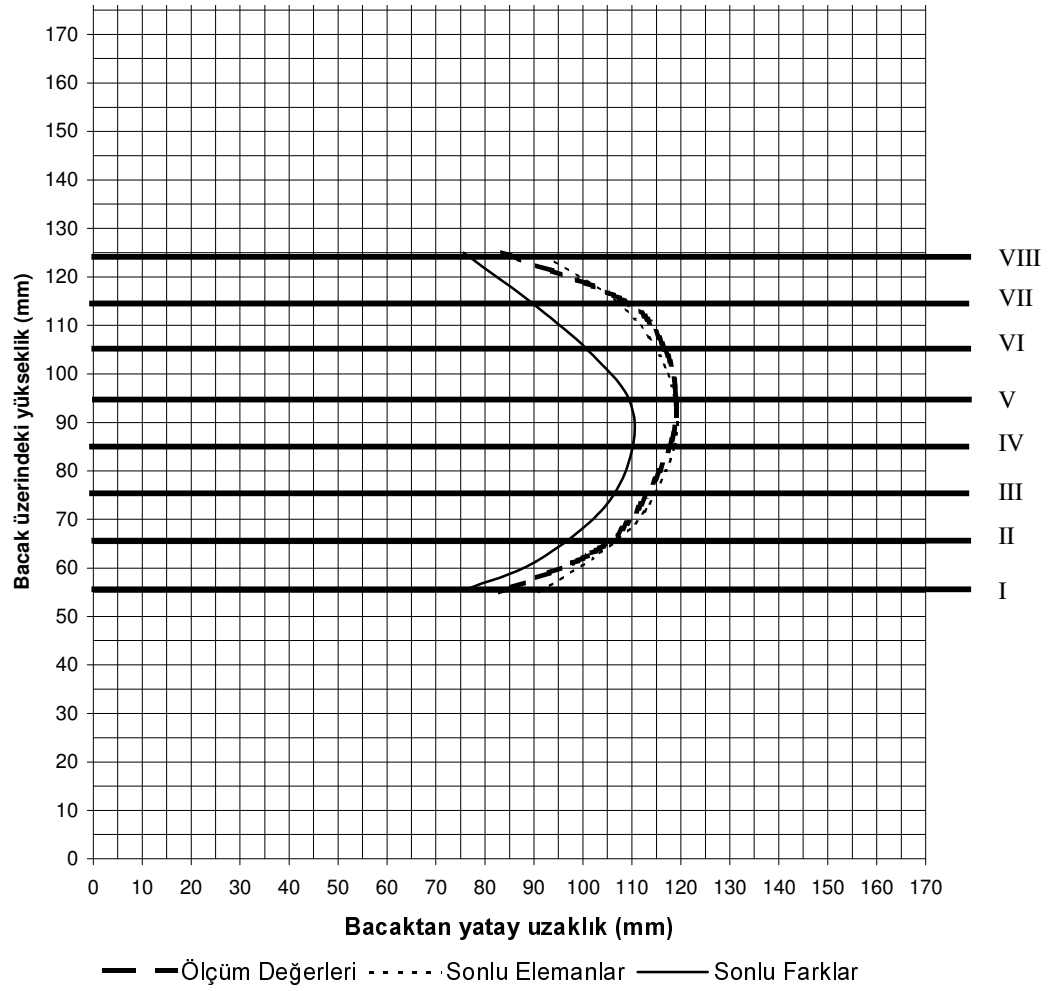


Şekil 7.17. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.



Şekil 7.18. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak 0,5628 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,54 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.

Ölçülmüş kaçak akı değerleri kullanılarak çizilen akı dağılımlarını, sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak hesaplanmış değerlere göre çizilen kaçak akı dağılımları ile karşılaştırmak için L sütunundaki $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımı eğrileride Şekil 7.19’da verilmiştir.



Şekil 7.19. Ölçüm değerleri, sonlu elemanlar, sonlu farklar yöntemi kullanılarak 0,4746 mV luk potansiyel değerine karşılık gelen $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları.

BÖLÜM VIII

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada kaçak akı dağılımını incelemek amacıyla pencere tipi bir deney transformatörü tasarlanmış ve perspektif görüntüsü Şekil 4.3'te verilen deney transformatörü gerçekleştirilmiştir. Bu deney transformatörünün sekonder bacağındaki kaçak akıları ölçmek ve kaçak akı dağılımını çizebilmek için 2 mm kalınlığında, üzeri 1 cm x 1 cm'lik karelere bölümlenmiş ortasında deney transformatörünün bacak boyutlarına uygun boşluk bulunan karton (mukavva) Şekil 4.6 üzerine yapıştırılmış ve Şekil 4.5'te görülen kalıp kullanılarak hazırlanmış ölçü bobinleri (Şekil 4.4) kullanılmıştır. Şekil 5.1'deki deney bağlantısı kurularak yapılan ölçme esnasında istenilen yükseklikte ölçme yapılabilmesi ölçü bobinlerinin yapıştırıldığı kartonun altına konan dört adet ayarlanabilir destekle sağlanmış ve kartonun yataylığı su terazisi ile gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen deney transformatörü için hem sonlu farklar, hem de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kaçak akı hesabı yapılmıştır. Bu çalışmadaki ölçümler sonucunda, sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak elde edilen akı dağılımlarının grafikleri farklı akı değerleri için çizilmiştir. Şekil 7.3'te ölçüm sonuçlarına göre ve (0,3864 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.4'te ölçüm sonuçlarına göre ve (0,4746 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.5'te ölçüm sonuçlarına göre ve (0,5628 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $2,54 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.6'da ölçüm sonuçlarına göre ve (0,651 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $2,93 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.7'de ölçüm sonuçlarına göre ve (0,7392 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $3,33 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine

göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.8'de ölçüm sonuçlarına göre ve (0,8274 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $3,73 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımları, Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11, Şekil 7.12, Şekil 7.13, Şekil 7.14, Şekil 7.15'de sonlu farklar yöntemi kullanılarak, Şekil 7.16, Şekil 7.17, Şekil 7.18'de ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çizilen akı dağılımları görülmektedir. Şekil 7.3 incelendiğinde $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 5,5 cm yükseklikte ve bacaktan 110,24 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değer son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 169,44 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.4 incelendiğinde $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 5,5 cm yükseklikte ve bacaktan 96,9 mm yatay uzaklıkta rastlanırken, aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 165,55 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.8 incelendiğinde $3,73 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 5,5 cm yükseklikte ve bacaktan 11,5 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 70,54 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.9 incelendiğinde $1,34 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 5,5 cm yükseklikte ve bacaktan 142,83 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan yaklaşık 168,58 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.15 incelendiğinde $3,72 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 12,5 cm yükseklikte ve bacaktan 9,6 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 67,8 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.16 incelendiğinde $1,74 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 12,5 cm yükseklikte ve bacaktan 114,9 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 165,01 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Şekil 7.18 incelendiğinde $2,54 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine ilk olarak bacaktan 5,5 cm yükseklikte ve bacaktan 59,8 mm yatay uzaklıkta rastlanırken aynı değere son olarak bacaktan 8,5 cm yükseklikte ve bacaktan 116,1 mm yatay uzaklıkta rastlanmaktadır. Sonuç olarak şekillerin ortak yönü, transformatörün sekonder bacağından uzaklaştıkça akı değeri azalmakta, bacağına yaklaştıkça akı değeri artmaktadır. Bu çalışmada sekonder bacağı üzerindeki sekiz farklı yükseklikte ölçüm yapılmış ve ölçüm sonuçları ışığında alan dağılımları çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde, bacaktan 5,5 cm ile 8,5 cm yükseklik arasında bacaktan olan yatay uzaklığın gittikçe arttığı ve 8,5 cm yükseklikte maksimum uzaklığa ulaştığı, bu

yükseklikten sonra ise tekrar azaldığı görülmektedir. Diğer yandan transformatörün yük akımı artırıldığında eğrilerin aynı özelliklerini koruduğu, ancak kaçak akı değerlerinde bir artış olduğu gözlenmiştir.

Ölçüm sonuçları ve sonlu elemanlar yöntemi ile sonlu farklar yöntemi kullanılarak elde edilen kaçak akı dağılımlarını karşılaştırabilmek için Şekil 7.19 (0,4746 mV'luk gerilim değerine karşılık gelen) $2,14 \cdot 10^{-7}$ Wb'lik akı değerine göre çizilen kaçak akı dağılımı verilmiştir. Şekil 7.19 incelendiğinde her iki sayısal yöntemle de yaklaşık olarak ölçüm sonuçlarına yakın kaçak akı dağılımının elde edildiği görülmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen kaçak akı dağılımının ölçüm sonuçlarına göre elde edilen akı dağılımına çok yakın olduğu, eğrilerin hemen hemen çakıştığı görülmektedir. Böylece ölçüm sonuçlarına en yakın sonucu veren matematiksel yöntemin sonlu elemanlar yöntemi olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada, sonlu farklar yöntemini kullanarak sonuca ulaşabilmek için 1521×1521 boyutunda büyük boyutlu kare matrisin çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Bu matrisin boyutunun büyüklüğü düşünüldüğünde yapılacak matematiksel işlemlerin uzunluğu ve zorluğu anlaşılmaktadır. Matlab programı kullanılarak bu matrisin tersini alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. 1521×1521 'lik bir matrisin yazılması esnasında hata yapma olasılığı oldukça yüksektir. Ayrıca Bölüm 3.2'de açıklandığı gibi matrisin tersini alarak sonuca ulaşmak çok zahmetli ve zaman alıcıdır. Halbuki bu çalışma esnasında görülmüştür ki, Microsoft (MS) Office Excel programının iterasyon (yineleme) özelliği kullanılarak yapılan hesaplamalarla da aynı sonuca çok daha kolay ve kısa bir sürede ulaşılmaktadır ve kare matrisin yazılmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu çalışmada katsayılar matrisi yazılarak elde edilen sonuçlar, MS Office Excel programının iterasyon (yineleme) özelliği kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların aynı olduğu saptanmıştır. Katsayılar matrisinin yazımında yapılabilecek hatalarda göz önüne alındığında MS Office Excel programının iterasyon özelliğini kullanarak sonuca ulaşmanın daha kolay ve güvenilir olduğu görülmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan çok terimlinin derecesi arttırıldıkça doğruluk oranının artacağı bilinmekle birlikte üçgen elemanlar ve birinci derece

yaklaşım işlevinin kullanımı ile elde edilen sonuçların doğruluğu için yeterli bulunarak çok terimlinin derecesi artırılmamıştır.

Bu çalışmanın ortaya çıkardığı sonuç, transformatörlerde kaçak akı dağılımını belirlemek için yapılacak deneysel çalışmanın zorluğu, harcanacak zaman ve yapılabilecek olan hatalar göz önüne alındığında sayısal yöntemler kullanılarak sonuca ulaşmanın daha doğru olacağıdır. Ölçüm işlemlerinin zor olduğu transformatörlerde ve büyük güçlü transformatörlerdeki kaçak akı dağılımlarını elde edebilmek için alan sondaları ile birkaç noktadan yapılan ölçüm sonuçlarını sonlu elemanlar veya sonlu farklar yönteminde kullanarak alan dağılımlarını kolay bir şekilde bulmak mümkündür.

Sonlu elemanlar yöntemi ile sonlu farklar yöntemi aynı sayıda bilinmeyen bir ağ için birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada deneysel sonuçlar ile sayısal yöntemlerden (sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemi) elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bu tür kaçak akı dağılımının bulunmasında sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerinin iyi modelleme ve tanımlama yapılırsa, doğruluk üstünlükleri olduğu ortaya konmuştur. Bilindiği gibi sonlu elemanların boyutları ve şekillerinin esnekliği nedeniyle sonlu elemanlar yöntemi daha güvenilir olabilir, ve bu yöntemle çok bağlantılı bölgeler veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir. Sonlu elemanlar yönteminde sınır şartları kolayca uygulanabilir, sınırsız sayı ve çeşitte sınır şartları elde edilebilir, bu yöntemin çok yönlü ve esnek oluşu nedeniyle karmaşık yapılarda sürekli olarak ortam, alan ve değişik problemlerde sebep-sonuç ilişkileri çok etkin bir şekilde hesaplanabilir. Sonlu elemanlar yöntemi yapısal ve yapısal olmayan pek çok probleme uygulanabilir. Bu metodla düzensiz şekilli elemanlar kolayca modellenir. Her iki sayısal yöntemle de aynı kolaylık ve doğrulukla çözüm yapılabilmesi bundan sonraki çalışmalarda sayısal kaçak akı dağılımını belirleyecek araştırmacılara seçenek oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Çetin, İ.: “Transformatör, Çözümlü Problemler I. Kısım”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, **(1978)**
- [2] Kalenderli, Ö.: ”Elektrik Mühendisliğinde Sonlu Elemanlar Yöntemi, Ders Notları”, İ.T.Ü. Elek. Fak. **(1996)**
- [3] Akhunlar, A.: “Elektrik Alanlarına Giriş II: Magnetik Alan”, İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi, İkinci baskı, Ofset Baskı Atölyesi, **(1977)**
- [4] Stratton, J. A.,”Electromagnetic Theory”, Mc Graw-Hill, New York, **(1941)**
- [5] Erdelyi, E. A.; Fuchs, E. F.; Binkley,D.H.: ”Nonlinear Magnetic Field Analysis of DC Machines”, IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, pp.1565-1583 **(1970)**
- [6] Erdelyi, E. A.; Fuchs, E. F.: “Fields in Electrical Devices Containing Soft Magnetic Materials”, IEEE Trans. On Magnetics, Vol. Mag-10, pp. 1103-1108, **(1974)**
- [7] Binns, K. L.; Lawrenson, P. J.: ”Analysis and Computation of Electric and Magnetic Field Problems”, Pergamon Press, Oxford, **(1962)**
- [8] Bewley, L. V.: “Two-Dimensional Fields in Electrical Engineering”, Dover, New York, **(1963)**
- [9] Erdelyi, E. A.; Sarma, M. S.; Coleman, S. S.: “Magnetic Fields in Nonlinear Salient Pole Alternators”, IEEE Trans. PAS –(87)10, October **(1968)**
- [10] Ackermann,. G.: “Grundlagen der Elektrotechnik Maschinenbauing”, Technische Universität Hamburg-Harburg, **(2002)**
- [11] Carter, G. W.: ”The Electro-Magnetic Field in Its Engineering Aspects”, Longmans, Green, London, **(1954)**
- [12] Roth, J. S.: ”Leistungs Elektronik und Regelungen”, Technik Univeristät Stuttgart, **(2003)**
- [13] Heydari, H.; Ariannejad, M.; Faghihi, F.: ”Simulation and analysis of 25 kA current injection transformer (CIT) with finite element method”, Electrotechnical Conference, 2004. MELECON 2004. Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean Volume: 3, Pages: 909 – 913, Vol. 3 12-15 May **(2004)**

- [14] Gallagher, R. H.; Oden, J. T.; Zienkiewicz, O. C. (eds.); "Finite Element in Fluids", vols.1, 2 Wiley, London, **(1975)**
- [15] Levy, S.; Wilkinson, J. P. D.: "The Component Element Method in Dynamics", McGraw-Hill. New York, **(1976)**
- [16] Aromr, A. F.; Chari, M. V. K.: "Heat Flow in the Stator Core of Large Turbine-Generators by the Method of Three-Dimensional Finite Elements", IEEE Trans. PAS-95 september- october **(1976)**
- [17] Benedikt, O.: "The Nomographic Computation of Complicated and Highly Saturated Magnetic Circuits", Pergamon Press, London **(1964)**
- [18] Turner, M. J.; Clough, R. W.; Martin, H. C.; Topp L. j.: " Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures", J. Aero. Sci. 23: 805-823 **(1956)**
- [19] Muller, W.; Wolff, W.: "Numerische Berechnung Drei dimensionaler Magnet Felder für grosse Turbe Generatoren an bei Feldabhängiger Permeabilitat und Beliebiger Stromdichte Verteilung", ETZ-A, 94: 276-282 **(1973)**
- [20] Chari, M. V. K.; Silvester, P.: "Finite Element in Electrical and Magnetic Field Problems", Wiley, New York, **(1980)**
- [21] Silvester, P. P.; Ferrari, R.L.: "Finite Elements for Electrical Engineers", Cambridge University Press, **(1983)**
- [22] Fuchs, E. F.; Erdelyi, E. A.: "Nonlinear Theory of Turboalternators", Vol. PAS-92, pp. 583-599 **(1973)**
- [23] Jackson, R. F.; Erdelyi, E. A.: "Combination and Seperation of Coordinates and Modular Programming for DC Machine Fields", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, No. 3, pp. 659-664, March **(1968)**
- [24] Chari, M. V. K.; Silvester, P.: "Analysis of Turbo Alternator Magnetic Fields by Finite Elements", **(1971)**
- [25] Silvester, P.; Chari, M. V. K.: "Finite Element Solution of Saturable Magnetic Field Problems", IEEE Trans. PAS-89(7): 1642-1651 **(1970)**
- [26] Chari, M. V. K.; Silvester, P.: "Finite Element analysis of Magnetically Saturated DC Machines", IEEE Paper 71 TP 3-WR, Winter Meeting, February **(1971)**

- [27] Silvester, P.; Rafinejad, P.: "Curvilinear Finite Elements for Two-Dimensional Saturable Magnetic Fields", Vol. 93, pp. 1861-1870, Nov/Dec. **(1974)**
- [28] Winslow, A. M.: "Numerical Solution of Quasi-Linear Poisson Equation in a Non-Uniform Triangle Mesh", Journal of Computational Physics, Vol.2, pp.149-172, **(1967)**
- [29] Fuchs, E. F.; McNaughton, G. A.: "Comparison of First-Order Finite Difference and Finite Element Algorithms for the Analysis of Magnetic Fields, Part I Theoretical Analysis", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol PAS-101, No.5, pp.1170-1180 **(1982)**
- [30] Tandler, D: "Messung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder", EMVU-Kongress **(29.03.1995)**
- [31] Thomas, J.; Hughes, R.: "The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis", Dover Publications September 1, **(2000)**
- [32] Luo, L.; Wang, Z.; Tong, T.: "The method solving short-circuit impedance between two interleave windings in the multi-winding core-type transformer with finite element method", Electrical Machines and Systems, 2001. ICEMS 2001. Proceedings of the Fifth International Conference on, Volume: 1, Pages: 254 - 256 18-20 Aug. **(2001)**
- [33] Sabonnadiere, J. C.; Coulomb, J.L.: "Finite Element Method in CAD", Springer verlag, New York, **(1987)**
- [34] Zienkiewicz, O. C.; Cheung, Y.K.: "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics", McGraw-Hill, London **(1967)**
- [35] Andreas, S.: "Unetrlagen zu FEM", HTA Biel 8 März **(2002)**
- [36] Sadiku, M. N. O.: "Numerical Techniques in Electromagnetics", Second Edition, CRC press, Boca Raton **(2001)**
- [37] Silvester, P.; Chari, M. V. K.: "Finite Element Solution of Saturable Magnetic Field Problems", IEEE Trans. PAS-89(7): 1642-1651 **(1970)**
- [38] Chari, M. V. K.; Silvester, P.: "Finite Element Analysis of Magnetically Saturated DC Machines", IEEE Trans. on Power App. and Syst., Vol. PAS 90, pp. 2362-2372 **(1971)**
- [39] Binns, K. J.; Lawrenson, P. J.: "Analysis and Computation of Electric and Magnetic Field Problems", Second Edition, Pergamon Press, New York, **(1973)**

- [40] Silvester, P.; Cabayan, H. S.; Browne, B. T.: "Efficient Techniques for Finite Element Analysis of Electric Machines", **(1973)**
- [41] Chari, M. V. K.; Csendes, Z. J.; Minnich, S. H.; Tandon, S. C.; Berkery, J. B.: "Load Characteristics of Synchronous Generators by the Finite Element Method", Vol. PAS-100, pp. 1-13, January **(1981)**
- [42] Chari, M. V. K.; Silvester, P.: "Analysis of Turboalternator Magnetic Fields by Finite Elements", Vol. Pas-90, pp. 454-464, March/April **(1971)**
- [43] Chari M. V. K.: "Finite Element Solution of the Eddy Current Problem in Magnetic Structures", IEEE Trans. PAS-93(1) **(1973)**
- [44] McNaughton, G. A.; Fuchs, E. F.: "Comparison of First-Order Finite Difference and Finite Element Algorithms for the Analysis of Magnetic Fields, Part II Numerical Results", IEEE Trans. On Power Apparatus and Systems, Vol .PAS-101, No.5, pp.1181-1201 **(1982)**
- [45] Andersen, O.W.: "Iterative Solution of Finite Element Equations in Magnetic Field Problems", IEEE Power Engineering Society, pp. 411-417, **(1972)**
- [46] Konrad, A.; Silvester, P.: "Triangular Finite Elements for the Generalized Bessel Equation of Order ", Int. J. Numer. Meth. Eng. 7: 43-55, **(1973)**
- [47] Silvester, P.; Cabayan, H.S.; Browne, B.T.: "Efficient Techniques for Finite Element Analysis of Electric Machines", IEEE Trans. PAS-92(4) **(1973)**
- [48] Brandl, P.; Reichert, K.; Vogt, W.: "Simulation of Turbogenerators on Steady State Load", Brown Boveri Rev. 9 **(1975)**
- [49] Minnich, S. H.; Csendes, Z. J.; Chari, M. V. K.; Tandon, S. C.; Berkery, J. F.: "Load Characteristics of Synchronous Generators by the Finite Element Method", F80 206-3, IEEE PES Winter Meeting, New York, February **(1980)**
- [50] Astley, R.J.; Eversman, W.: "Accuracy and Stability of Finite Element Schemes for the Duct Transmission", Paper 81-2015, American Institute of Aeronautics and Astronautics, **(1981)**
- [51] Csendes, Z.J.: "The High Order Polynomial Finite Element Method in Electromagnetic Field Computation", Finite Elements in Electric and Magnetic Field Problems, Wiley, Chichester, **(1980)**
- [52] Khan, S. H.; El-Shawish, J. M.; Grattan, K. T. V.: "Finite element modeling of saturation and eddy current effects in commercial variable transformers",

IEEE Transactions on Magnetics, Volume: 37, Issue: 4 , Pages: 2783 – 2786
July **(2001)**

- [53] Kardestuncer, H.; Norrie, D. H.: “Finite Element Handbook”, McGraw-Hill, Inc. New York **(1987)**
- [54] De Gersem, H.; Hameyer, K.: ”A finite element model for coil winding simulation”, IEEE Transactions on Magnetics, Volume:37, Issue:5, Pages: 3427-3432 Sept. **(2001)**
- [55] Fox, L.; ”An Introduction to Numerical Linear Algebra”, Clarendon Press, Oxford, **(1964)**
- [56] Wang, H.; Butler, K.L.: “ Finite element analysis of internal winding faults in distribution transformers”, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 16, Issue: Pages: 422 – 428 3, Jul **(2001)**
- [57] Hestenes, M.R.; Stiefel, E.: “Method of Conjugate Gradients for Solving Linear Systems”, Rep. No: 1659, National Bureau of Standards, Washington, D.C. **(1952)**
- [58] Stoer, J.; Bulirsch, R.: “Introduction to Numerical Analysis”, Springer-Verlag, New York, **(1980)**
- [59] Mirafzal, B.; Demerdash, N.A.O.: ”Effects of inductance nonlinearities in a transformer-rectifier DC motor drive system on the AC side harmonic distortion using a time-stepping coupled finite element-circuit technique”, Electric Machines and Drives Conference, **(2003)**. IEMDC'03. IEEE International Volume: 3 , Pages: 1755 - 1759 vol.3 1-4 June **(2003)**
- [60] Gönenç, İ: “Yüksek Gerilim Tekniği”, İ.T.Ü. Elek. Fak. **(1977)**
- [61] Erwin, K.: “Advanced Engineering Mathematics”, Ohio State University Columbus, Ohi, Ninth wiley eastern reprint New York, ISBN 81-224-0016-7 July **(1991)**
- [62] Forsythe, G. E.; Wasow, W. R.: “Finite-Difference Methods for Partial Differential Equations”, John Wiley & Sons, Inc. P. 214, New York **(1960)**
- [63] Demerdash, N. A.; Nehl, T. W.: “An Evaluation of the Methods of Finite Elements and Finite Differences in the Solution of Nonlinear Electromagnetic Fields in Electric Machines”, IEEE Trans. On Power Apparatus and systems, Vol PAS-98, pp. 74-84 **(1979)**
- [64] Dalfes, A.: “Elektrik ölçme laboratuvarı deneyleri”, 5. Baskı İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi ofset baskı atölyesi **(1983)**

- [65] Pastacı, H.: “Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”, Genişletilmiş Baskı, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul **(2000)**

Ek 1

Deneyde Kullanılan Ölçü Aletlerinin Hassasiyetleri

Fiziksel büyüklüklere ait ölçüm sonuçlarını tek bir sayı ile ifade etmek mümkün değildir. Ne kadar dikkatli bir ölçüm yapılırsa yapılsın, ne kadar hassas aletler kullanılırsa kullanılsın hatasız bir ölçme yapılamaz. Yapılacak toplam hata genel olarak iki hata grubunda toplanabilir. Bunlardan biri, hesap yolu ile tayin edilebilen tayin edilebilir hatalar; diğeri ise kaynakları kişiden kişiye ve zamandan zamana değişen ve hesap edilme imkanı bulunamayan tayin edilemez hatalardır. Ölçüm sonuçlarının analizi yapılırken, yapılan hatanın miktarı ve çeşidinin iyi bilinmesi gerekir. Ölçmedeki hata, ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farktan oluşur. Genel olarak hatalar üç grupta toplanır [64].

1. Sistem veya cihaz içi hatalar,
2. Sistem veya cihaz dışı hatalar,
3. Rastlantı hataları.

Sistem veya cihaz içi hataları, tekrarlı ölçmelerde sabit olan ve değişmeyen hatalardır. Bu hatalar; imalat sırasındaki fabrika yapım hataları, referans, ayar ve kalibrasyon hatalarıdır. Sistem veya cihaz içi hataları, cihazın mekanik elektriksel ve ısı karakteristiklerinden de meydana gelebilir [65].

Sistem veya cihaz dışı hatalar, insan ve diğer dış kaynaklı hatalar olmak üzere iki grup altında toplanabilir. İnsan kaynaklı olanlar; yanlış okuma, yanlış skala seçimi, cihaz ayarlarının yanlış yapılması şeklinde özetlenebilir. Yüksek sıcaklık, nem, elektrik ve magnetik alan gibi dış etkenlerden oluşan hatalar da dış kaynaklı hatalar sınıfına girer.

Bilindiği gibi ne kadar hassas ölçü aleti kullanılırsa kullanılsın, bazı ölçmelerde rastlantı hataları yer alabilir. Belirli bir ölçme işlemi aynı kişi tarafından belli bir ölçme yöntemi ve hep aynı aletlerle, aynı ortam etkileri altında tekrar edilse dahi hep aynı büyüklük ölçüldüğü halde farklı farklı ölçüm sonuçları elde edilebilir. Rastlantı hataları belirsiz nedenlerden dolayı ortaya çıkan hatalardır. İbrenin ara değerlere sapması durumunda, okuma yaparken en yakın bir üst veya bir alt değere kaydırılırken yapılan hatalardır. Diğer bir hata, ibrenin gerçek değer civarında titremesi sonucunda iyi bir okumanın yapılamaması sonucunda ortaya çıkan hatalardır. Rastlantı hataları genellikle sistem hatalarına göre oldukça küçüktür. Bu

nedenle bu hatalar sistem hataları yanında ihmal edilebilir. Çalışmada ölçülen değerlerde rastlantı hatalarının yer almadığı kabul edilmiştir.

Yapılan ölçmelerde gösterilen dikkat ve titizlik sonucu kişisel hatalar sıfıra indirgenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ölçü aletinin gecikme süresinden kaynaklanan hatalar ile okuma ve tayin hatalarını en aza indirmek için senkron generatörün ürettiği gerilimin frekansı, transformatörün primer gerilim ve akımı, kaçak akının ölçü bobinlerinde endüklediği gerilim gibi büyüklükler sayısal (dijital) göstergeli ölçü aleti ile ölçülmüştür.

Yapılan ölçmelerde en büyük hata payını sistem hataları oluşturmaktadır. Ancak sistem hataları kullanılan aletler, ölçme yöntemleri ve ortam etkileri gibi nedenlerden dolayı olduğundan, bu hatalar hassas aletler ve uygun yöntemler kullanılmakla en küçük değerlere indirilebilir. Sistem hatalarının içinde de en büyük payı yapım hatası oluşturmaktadır. Bir ölçü aleti veya ölçme elemanı ne kadar hassas yapılırsa yapılısın veya ölçeklensin, mutlaka bir hatası olacaktır. Ölçü aletlerinde yapım hatası analog (ibreli) tiplerde aletin son ölçme sınırı dikkate alınarak verilmiş olan bağıl hatanın 100 katı bir değer ile temsil edilir. Bu değer aletin doğruluk derecesini, sınıfını gösterir. Aletin sınıfı analog göstergelilerde aletin kadranına yazılmıştır. Sayısal (dijital) göstergelilerde ise kataloglarında verilmiştir.

Doğruluk, ölçülen değer gerçeğe ne derece yakın olduğunu gösterir. Ölçmedeki en önemli parametre doğruluktur. Doğruluğu ifade etmek üzere mutlak hata, bağıl hata ve bağıl doğruluk tanımları kullanılır. Gerçek değer (X) ile ölçülen değer (X_0) arasındaki fark mutlak hatayı (ΔX) verir [65]. Mutlak hata

$$\Delta X = X_0 - X$$

şeklinde tanımlanır. Bağıl hata ise,

$$\beta = (X_0 - X)/X$$

şeklinde ifade edilir.

Bağıl hata veya bağıl doğruluk cihaz skalasının tam sapması için verilir ve cihazın bütün kademeleri için aynıdır. Bağıl hata, cihaz veya elemanın sınıfını ifade

eder. Aletlerin mutlak yapım hataları ölçtükleri değerin büyüklüğü ile değişmeyeceğinden aletin olabilecek en büyük mutlak yapım hatası

$$\Delta X = \pm h_s \cdot X_m \quad h_s = s/100$$

şeklinde de yazılabilir. Yani bu ölçü aleti ile normal şartlar altında ve son ölçme sınırı içinde herhangi bir değerde ölçme yapılırken okunan değer gerçek değerden en çok ΔX kadar fazla veya eksik olabilecek demektir. Burada s aletin sınıfını X_m son ölçme (skala) değeridir. Her hangi bir ölçme değerinde ölçü aletinin bağıl yapım hatası ise

$$h = \pm \Delta X \cdot X_m / X_m \cdot X = \pm h_s \cdot X_m / X$$

olup ölçülen büyüklüğün değeri ile değişir. Sayısal (dijital) tip ölçü aletlerindeki hataların bulunması ise aşağıda gösterilmiştir.

Transformatörün primer gerilimini ölçmede AC’de 750-1000V ölçme kademesi olan ve virgülden sonra bir hane ölçme yapabilen 4000CA model dijital bir avometre (Multimetre) kullanılmıştır. Ölçü aletinin 750V kademesindeki doğruluğu, 0°C-40°C çalışma sıcaklığında ve 45-500Hz frekans aralığında $\pm(0,9\% \text{ rdg} + 4 \text{ dgt})$ ’dir. Örneğin aletin 750V’luk kademesinde gerilim 23 (Tablo 4.1’de Sıra No: 2) ölçülürken olabilecek mutlak hata

$$\Delta_m = \pm 23 \cdot \%0,9 + 4 \cdot 0,1 = 0,607V$$

Olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{U} = \pm \frac{0,607}{23} = \pm \%2,63$$

dür. Aletin 750V’luk kademesinde gerilim 83V (Tablo 4.1’de sıra no: 64) ölçülürken olabilecek mutlak hata

$$\Delta_m = \pm 83 \cdot \%0,9 + 4 \cdot 0,1 = 1,147 \text{ V}$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{U} = \pm \frac{1,147}{83} = \pm \%1,38$$

dir. Deney transformatörünün primer anma gerilimi olan ve deney boyunca sabit tutulan 220V'ta ölçüm yapılırken olabilecek mutlak hata

$$\Delta_m = \pm 220 \cdot \%0,9 + 4 \cdot 0,1 = 2,38 \text{ V}$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{U} = \pm \frac{2,38}{220} = \pm \%1,08$$

dir. Transformatörün primer akımını ölçmede AC'de 400 μ A-4 mA-40 mA-400 mA-12 A ölçme kademeleri olan ve virgülden sonra bir hane ölçme yapabilen 4000CA model dijital bir avometre (multimetre) kullanılmıştır. Ölçü aletinin 400 mA kademesindeki doğruluğu, 0°C-40°C çalışma sıcaklığında ve 45-500 Hz frekans aralığında $\pm(1,2\% \text{ rdg} + 4 \text{ dgt})$ 'dir. Örneğin aletin 400 mA lik kademesinde akım 100 mA (0,1 A) (Tablo 4.1'de Sıra No: 2) ölçülürken olabilecek mutlak hata

$$\Delta_m = \pm 100 \cdot \%1,2 + 4 \cdot 0,1 = 1,6 \text{ mA}$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{I} = \pm \frac{1,6}{100} = \pm \%1,6$$

dır. Bu ölçü aletinin 12 A kademesindeki doğruluğu $\pm(1,9 \% \text{ rdg} + 4 \text{ dgt})$ 'dir. Bu aletin 12 A lik kademesinde akım 9,7 A (Tablo 4.1'de Sıra No: 64) ölçülürken olabilecek mutlak hata

$$\Delta_m = \pm 9,7 \cdot \%1,9 + 4 \cdot 0,1 = 0,584A$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{I} = \pm \frac{0,584}{9,7} = \pm \%6$$

Deneyde çalışma frekansını ölçmede 10-90 Hz ölçme alanı olan ve virgülden sonra bir hane ölçme yapabilen EFC3 marka dijital bir frekansmetre kullanılmıştır. Bu frekansmetrenin doğruluğu, -3°C ile 50°C arasındaki kullanım sıcaklığında $\pm(1\% \text{ rdg} + 1 \text{ dgt})$ dir. 50 Hz'lik değer ölçülürken olabilecek mutlaka hata

$$\Delta_m = \pm 50 \cdot \%1 + 1 \cdot 0,1 = 0,6\text{Hz}$$

olup bağıl hata ise

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{I} = \pm \frac{0,6}{50} = \pm \%1,2$$

dir. Her ölçümün sonucunda elde edilen değer içinde kaçınılmayan bir hata payı vardır. Bundan dolayı bir büyüklüğün gerçek değeri hiçbir zaman tam olarak bilinemez. Yapılan ölçümlerde gerçek değer hakkında yaklaşık bir değer elde edilir. Ölçülen değer, gerçek değer hangi değerler arasında bulunduğunu karakterize eden yaklaşık değerdir.

Yapılan örnek hesaplamalar kaçak akıların ölçüm bobinlerinde ortam sıcaklığında endüklediği gerilim değerleri için yapılmıştır.

Ölçü bobinlerindeki gerilim ölçümlerinde kullanılan FLUKE 45 marka sayısal avometrenin (multimetrenin) 0°C ile 50°C arasındaki çalışma sıcaklıklarındaki çözünürlüğü 1 µV olan 100 mV'lık ölçüm kademesindeki doğruluğu,

$$\Delta = \pm(\text{ölçüm değerinin}\%0,025 + 0,006)$$

olarak verilmiştir. Buna göre ölçü aleti ile (Tablo[(5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9)]'da) ölçülmüş en yüksek değer olan 1,98 mV için olabilecek mutlak hata

$$\Delta = \pm(1,98\text{mV } \%0,025 + 0,006) = 0,006495\text{mV}$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{U} = \pm \frac{0,006495}{1,98} = \pm 0,00328$$

dir. Bu ölçü aleti ile (Tablo[(5.2), (5.3), (5.4), (5.5), (5.6), (5.7), (5.8), (5.9)]'da) ölçülmüş en düşük değer olan 0,11 mV için olabilecek mutlak hata

$$\Delta = \pm(0,11\text{ mV } \%0,025 + 0,006) = 0,0060275\text{ mV}$$

olup bağıl hata ise,

$$h = \pm \frac{\Delta_m}{U} = \pm \frac{0,0060275}{0,11} = \pm 0,05479$$

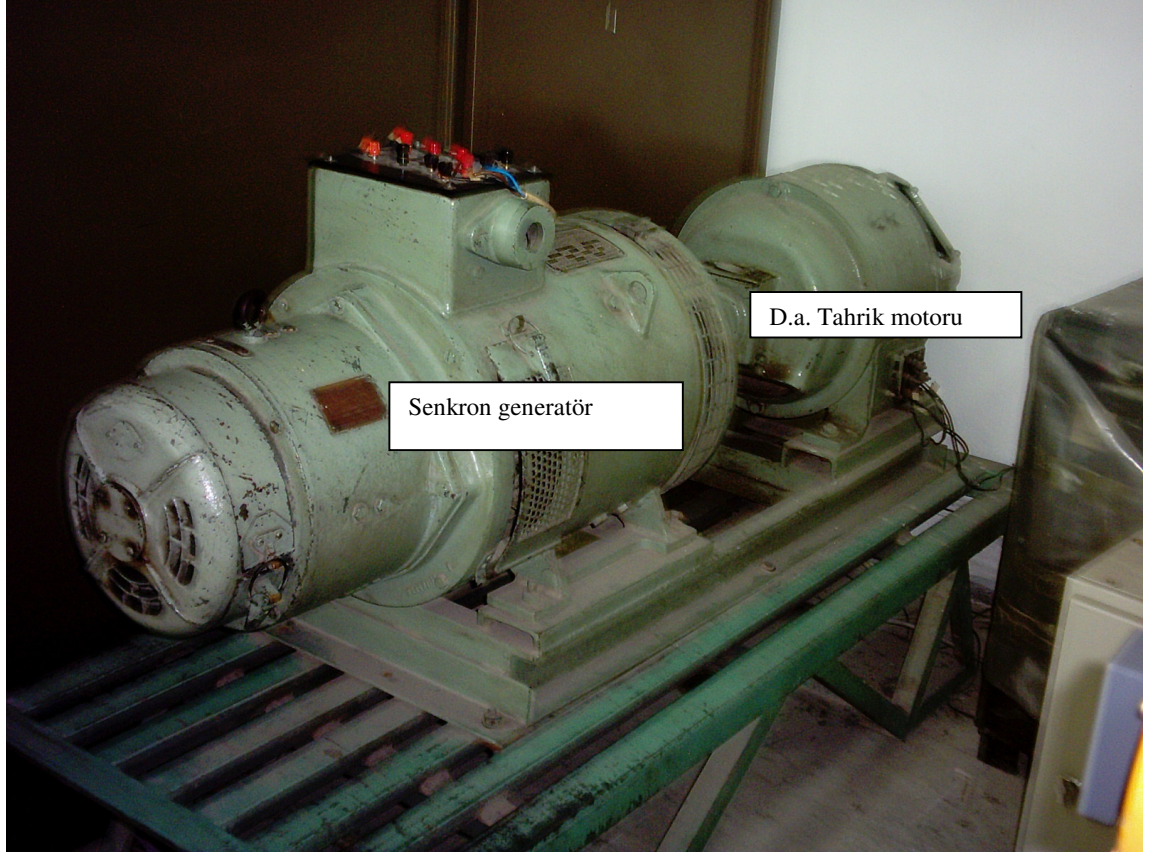
olur.

Ek 2

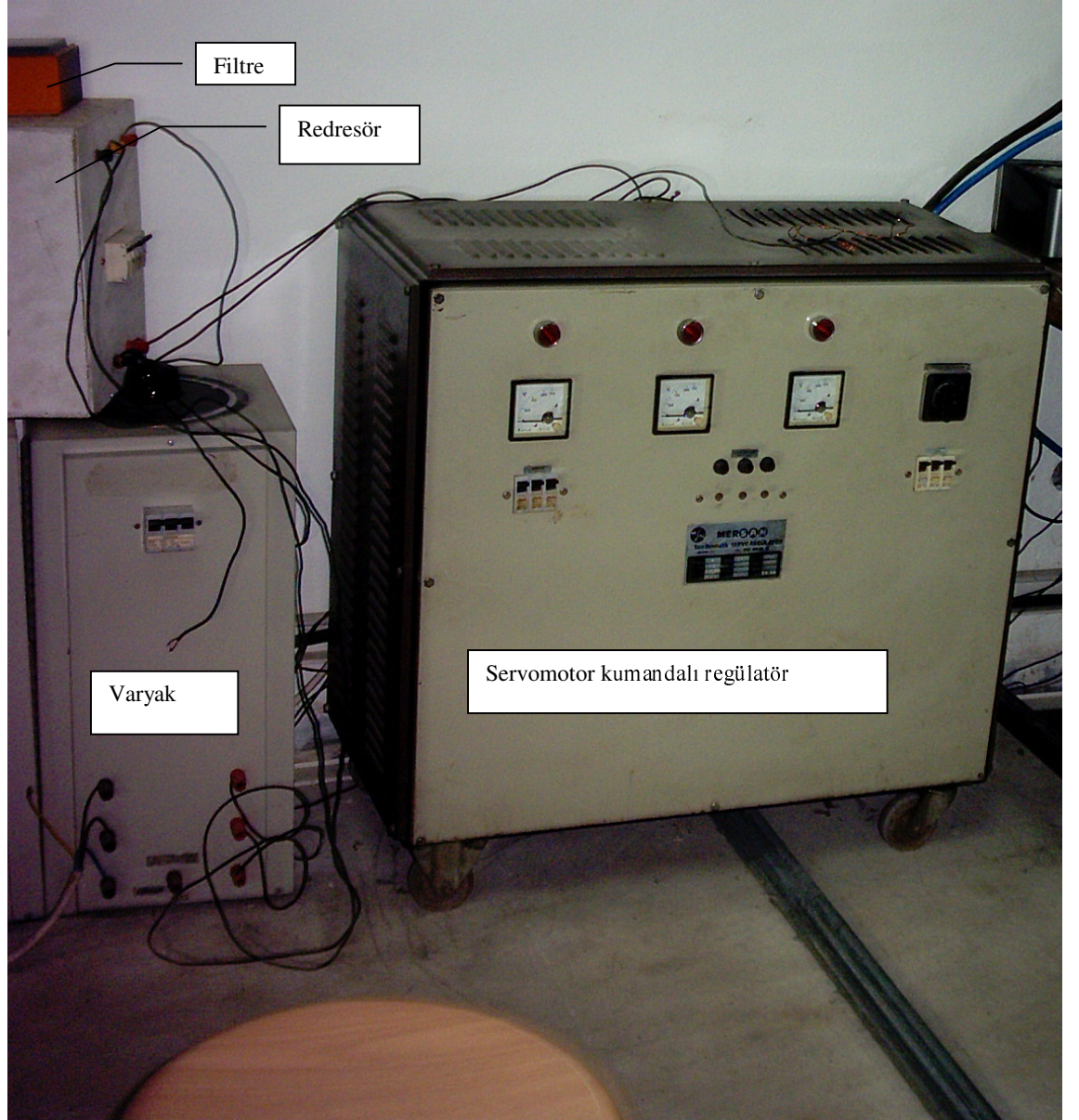
Deneyde Kullanılan Araç, Gereçlerin Fotoğrafları



Şekil Ek 2.1 Deneyde kullanılan Transformatörün fotografik görünüşü



Şekil Ek 2.2 Enerji kaynağı olarak kullanılan senkron generatör ve tahrik motorunun fotografik görünüşü



Şekil Ek 2.3 Tahrik motoruna sabit gerilimli enerji sağlayan servomotor kumandalı regülatör ve d.a. güç kaynağı elemanlarının (varyak, redresör ve filitrenin) fotografik görünüşü

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İsmail BOZKURT
Doğum Yeri : Sinop
Doğum Tarihi : 09.02.1970
Medeni Hali : Evli, iki Çocuk Babası
Adres : Aydınlı Yolu Üzeri No:175/2 Pendik-İstanbul
Telefon (ev) : 0216 375 55 04
Telefon (iş) : 0216 336 57 70/626

Eğitim

1996- : Doktora, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik
Eğitimi Anabilim Dalı
1994-1996 : Yüksek Lisan Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü, Elektrik Bölümü
1990-1994 : Lisans Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik
Eğitimi Bölümü
1986-1990 : Kartal Endüstri Teknik Lisesi, Elektrik Bölümü

İş Hayatı

2000-... : Öğretim Görevlisi, Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek .
Yüksek Okulu
1999-2000 : Araştırma Görevlisi, Marmara Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek
Yüksek Okulu
1996-1999 : Araştırma Görevlisi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
1995-1996 : Öğretim Görevlisi, Trakya Üniversitesi Lüleburgaz Meslek Yüksek
Okulu

Yabancı Dil

Almanca (iyi derecede, KPDS puanı 67)