

T.C.

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KONU: ANALOG BİLGİSAYARIN SAYISAL BİLGİSAYARDA
SİMULASYONU VE BUNUN ADİ DİFERANSİYEL DENK-
LEMLERE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROGRAMI: SİSTEM ANALİZİ

YÖNETEN: PROF. DR. MUZAFFER İPEK

HAZIRLAYAN: ZEYNEP ALTAN

MATEMATİK MÜH.

OCAK 1984

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I

ANALOG BİLGİSAYAR TEORİSİNİN ESASI

1.1. Kısa açıklamalar	1
1.2. Analog bilgisayarla sayısal bilgisayarın karşı- laştırması	3
1.3. Analog bilgisayarın temel elemanları	4
1.4. Amplifikatörler	5
1.5. Katsayı potansiyometrelerinin kullanımı	11
1.6. Potansiyometre ölçü işaretini ayarlama	14
1.7. İntegratörler	16
1.8. Sembolik gösterilim	18
1.9. Operatör notasyonu	18
1.10. Büyüklük cetveli	20
1.11. Analog simulasyon için genel bir programlama	22

BÖLÜM II

PROBLEMLERİN AÇIKLAMALARI

2.1. 1. Problemin açıklaması	24
2.2. 2. Problemin açıklaması	33
2.3. 3. Problemin açıklaması	41
2.4. 4. Problemin açıklaması	53

BÖLÜM III

ADİ DİFERANSİYEL DENKLEMLER ŞEKLİNDE VERİLEN PROBLEMLERİN LÜMERİK ÇÖZÜMLERİ

3.1. $y'=f(x,y)$ şeklindeki diferansiyel denklemin çözümü için MİLNE yöntemi	64
3.2. $y''=f(x,y,y')$ şeklindeki 2. dereceden bir diferan- siyel denkleme MİLNE yönteminin uygulanması	74
3.3. $y'=f(x,y)$ şeklindeki diferansiyel denkleme RUNGE- KUTTA yönteminin uygulanması	75
3.4. $y''=f(x,y,y')$ şeklindeki diferansiyel denkleme RUNGE- KUTTA yönteminin uygulanması	80

BÖLÜM IV

PROGRAM İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR

4.1. Programda kullanılan altprogramlar	87
4.2. Programda kullanılan önemli değişkenler	90
4.3. Giriş bilgilerinin düzeni	94
4.4. Çıkış bilgilerini düzeni	

EK 1: Programdaki önemli alt programların akış diyagram-
ları

EK 2: Problemin programı

1. ANALOG BİLGİSAYAR TEORİSİNİN ESASI

1.1. Elektronik bilgisayarların iki temel yapısı olan ANALOG ve SAYISAL (DİGİTAL) bilgisayarlar, genelde ilmi araştırmalarda, veri tamamlarında, control sistemlerinde ve diğer pek çok alanlarda, endüstrinin tüm kesiminde kullanılmaktadır. Karmaşık matematiksel işlemleri çabuk ve doğru olarak icra etmesi nedeni ile ilmi araştırmaların görüş alanını genişletmişlerdir. Bununla beraber ikisinin işleme yöntemleri pek benzer değildir.

SAYISAL BİLGİSAYARLAR, temelde problemin verilerini ve emirleri (komutları) depolamak için bir BELLEK ÜNİTESİ; bilgileri bellek ünitesine iletmek için bir GİRİŞ ÜNİTESİ; verilerin programlanmış yapılara göre işlenmesi için bir ARİTMETİK-LOJİK ÜNİTESİ; aritmetik ünite ve bellek arasında karşılıklı alışverişi sağlayan KUMANDA ÜNİTESİ ve bilgisayar sonuçlarını veren bir çıkış ÜNİTESİ'nden oluşmaktadır. Sayısal bilgisayarda problemler, integrasyon, çarpım, bölme, türev işlemleri ile çözülmektedir. Sayısal bilgisayarın çalışmasının adım adım olması nedeni ile, hesaplama zamanı ve problem değişkenleri arasında bir ilişki yoktur ve toplam hesaplama zamanı her işlem için icra süresine ve istenilen sonuca ulaşmak için icra edilmesi gereken işlem sayısına bağlıdır. Sayısal bilgisayarlarda, bir problemin programlanmasında kullanılan nümerik yöntemlerin sonuçları elde etmek için genellikle çok sayıda işlemi gerektirmesi nedeni ile hesaplama zamanları bir saniyeden birkaç

saate kadar değişebilir. Bu değişme problemin büyüklüğüne ve karmaşıklığına bağlıdır.

ELEKTRONİK ANALOG BİLGİSAYARLAR (EAB), temelde sayısal bilgisayarlar, negatif geri besleme, basit rezistans kapasitör devrelerini bağlamada kullanılan elektronik güçlendiricilerden oluşmuştur. Bunlara ilaveten fonksiyon arpanları, fonksiyon jeneratörleri, diodlar gibi özel araçlar daha karmaşık problemlerin simulasyonu için yardımcı araçlar olarak kullanılmaktadır. EAB ile problemin çözümü analogi ile olmaktadır. Bu ise şunu ifade etmektedir: Bilgisayar programlanır, böylece devre denklemleri, problemin denklemleri ile aynı matematiksel yapıya sahip olur. Bu tip bilgisayarlarda gerilimler; ivme, ısı, kuvvet, yer değişterme vs. gibi çeşitli fiziksel büyüklükleri simgelerler gerilimlerin büyüklükleri ÖLÇÜM ÇARPANLARI'nın kullanılmasıyla fiziksel büyüklüklerin nümerik değerlerine bağlıdır. Analog bilgisayarlar işlemlerini zamana göre SÜREKLİ İşLEM ile icra ederler. Sayısal bilgisayarların tersine, analog bilgisayarın hesaplama zamanı ile çözülecek problemin değişkenleri arasında bir bağıntı vardır. Bu bağıntının değişmesi nedeni ile EAB'de çözümü elde etmek için gereken toplam hesaplama zamanı değiştirilebilir. Bu değişim operatörün becerisine bağlıdır. Bu işlem zaman ölçümü olarak bilinir.

1.2. ANALOG BİLGİSAYARLARLA, SAYISAL BİLGİSAYARLARIN KARŞILAŞTIRMASI:

Mühendislik problemlerini çözmede bu iki bilgisayar türünden hangisinin daha uygun olduğu sorusu sık sık sorulmaktadır. Bu soruya cevap her ikisininde arzu edilir olduğudur. Her ikisinde teorik olarak her çeşit matematiksel bağıntıları çözmeye elverişlidir. Sayısal bilgisayarların, sıradan işlemlerle ayırık olarak işlem görmesi nedeni ile; ayırık olarak sıralanmış çok fazla veri içeren problemler sayısal bilgisayarlara daha uygundur. Diğer taraftan sürekli bilgilerin integrasyonunu içeren problemler (akselerometrenin çıkış akımlarını simgeleyen problemlerdeki gibi) analog bilgisayarlarda daha kolay çözülebilirler. Sayısal bilgisayarın, analog bilgisayardan daha kesin sonuçlar vermesi nedeni ile, giriş verileri kesin olarak belirlenmiş, kesin sonuçlar içeren problemler sayısal bilgisayarlarda daha kolay olarak çözülebilir.

Hem zaman diferansiyel denklemlerin çözümleride analog bilgisayarda daha kolaylıkla elde edilebilir. Çünkü programlama çok daha basit ve hesaplama zamanı oldukça kısadır. Genelde diferansiyel denklemler analog bilgisayarlarda çözüm için en uygun olanıdır. Zira analog bilgisayarlar temelde bir integrasyon aygıtıdır. Yaklaşık çözüm analog bilgisayarlarda kolaylıkla ve çabuk olarak elde edilebilir. Yalnız bu çözüme çeşitli yolları

deneyerek ulaşılabilir; böylece daha etkili sayısal bilgisayar programı ve minimum hesaplama zamanı ile sonuca ulaşılabilir.

Sonuç olarak; özel bir problemin çözümünde hangi bilgisayarı kullanmanın daha uygun olduğunu saptamak için birbiri ile ilgili pek çok kriterin var olduğunu söylenebiler. Bu kriteri saptamada, problemin tabiatı, problemi simgeleyen matematiksel model, giriş verilerinin şekli, istenilen sonucun kesinlik derecesi ve ilgili programlama zamanı önemlidir.

1.3. ANALOG BİLGİSAYARIN TEMEL ELEMANLARI

EAB'ların temel elemanlarının sayısı pek fazla değildir. İlki ve en önemlisi AMPLİFİKATÖRLER'dir. Uygun girişler ve geri besleme empedanslarının bağlanması ile,

- 1) Toplama ve çıkarma
- 2) Çarpma ve bir sabit ile bölme
- 3) İntegrasyon işlemlerini yapar.

Giriş ve geri besleme empedansları rezistans ve kapasitörlerden oluşur. Bunlar basit R-C şebekelerinden oluşurlar. Analog bilgisayarda kullanılan dirençler ve kapasitörler sırası ile mega ohm ve mikrofarağ cinsinden değeri NOMİNAL biçimde sağlarlar. Kapasitörlerin nominal değeri 0,01, 0,1 ve 1 μ F civarındadır. Dirençlerin nominal değeri 0,1 megaohm ile 10 megaohm arasındadır.

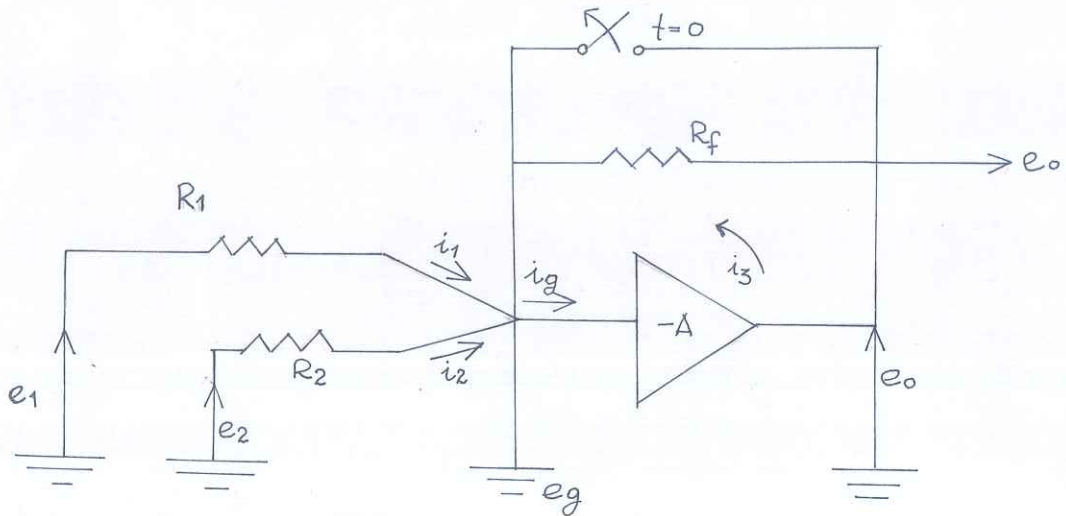
İkinci temel eleman ise; elektrik devreleri yardımı ile problemin simülasyonundaki katsayıları elde etmek için gereklidir. Bu ise, geri besleme ve giriş empedanslarının oranları ile sağlanır.

Üçüncü olarak; problemde gerekli başlangıç-şartı gerilimlerinin uygun bir aplikasyonunu elde eden ve programı başlatan, icra eden ve bitiren bir kontrol sistemi sağlanmalıdır. Bu kontrol fonksiyonları bilgisayardaki bir otomatik ayarlayıcılar sistemi ile icra edilir ve genellikle TEKRAR ÇALIŞTIRMA ayarlayıcıları olarak bilinir.

Dördüncü eleman ise, çözülecek problem daha kompleks olduğu zaman, çarpma ve bölme işlemlerine bağlı birimlerin değişken miktarını sağlamaktadır.

Bundan başka, matematiksel olarak ifade etmenin güç olduğu fonksiyonlar için, keyfi olarak oluşturulmuş donanımların kullanımı gerekecektir.

1.4. AMPLİFİKATÖRLER:



Şekil (1-1)

- $e_1, e_2 \rightarrow$ giriş terminaline bağlanmış toprak gerilimi
 $e_g \rightarrow$ plaka terminaline bağlanmış toprak gerilimi
 $e \rightarrow$ çıkış terminaline bağlanmış toprak gerilimi
 $i_g \rightarrow$ amplifikatörün giriş lambasındaki akım

Bu şebeke R_1, R_2 giriş rezistansları ile R_f geri besleme rezistansından oluşmuştur. Toplanmış her gerilim için bir giriş rezistansı olmalıdır. Bu şebeke ile çıkış gerilimi e_o , daima $e_1, e_2, \dots, e_n$ giriş gerilimlerinin cebrik toplamının negatifine eşit olacaktır.

"AMPLİFİKATÖR" toplama, çıkarma, bir sabit ile çarpma, bir sabite bölme işlemlerini yerine getirir. Amplifikatörün oluşturduğu işlem, geri besleme ve giriş rezistanslarının nisbi büyüklüğüne ve giriş gerilimlerinin relatif polaritesine bağlıdır.

Kirchoff kanunundan devre denklemlerine şöyle yazabiliriz.

$$i_1 + i_2 + i_3 = i_g \quad (1.1)$$

$$\frac{e_1 - e_g}{R_1} + \frac{e_2 - e_g}{R_2} + \frac{e_o - e_g}{R_f} = i_g \quad (1.2)$$

e_g ve i_g amplifikatörün giriş durumundaki vakum lambası levhasının gerilim ve akımıdır. Amplifikatörün A kazancı levha gerilimi ve çıkış gerilimi arasındaki bağıntıyı sağlar.

$$e_o = -Ae_g \quad (1.3)$$

Analog bilgisayarda kullanılan boşu operasyonel amplifikatörlerin kazancı 10^5 veya daha fazladır; çıkış gerilimleri ise genellikle ± 100 volt'dan daha fazla olamaz.

Buradan;

$$e_g = -\frac{e_o}{A} = -\frac{10^2}{10^5} = 0 \quad (1.4)$$

yani levha geriliminin tüm pratik kullanımlar için ihmal edilebilir olduğu görülmektedir.

Levha akımı ve geriliminin pratikte sıfır olmasından dolayı (1.2) denklemini

$$e_o = - \left(\frac{R_f}{R_1} e_1 + \frac{R_f}{R_2} e_2 + \dots + \frac{R_f}{R_n} e_n \right) \quad (1.5)$$

şeklinde yazabiliriz.

(1.5) denklemi bir amplifikatör için DEVRE DENKLEMİ'dir. Bu denklem, çıkış gerilimi e_o 'ın dirençlerin oranları ile gösterilmiş giriş gerilimlerinin cebrik toplamının negatifine eşit olduğunu gösterir.

a) Eğer $\frac{R_f}{R_n} = 1$; e_1, e_2 aynı kutba sahip ise;

amplifikatör toplamayı gösterir.

b) Eğer $\frac{R_f}{R_n} = 1$; e_1 ile e_2 zıt kutba sahip ise;

amplifikatör çıkarmayı gösterir.

c) Eğer $\frac{R_f}{R_n} > 1$ ise her iki gerilimin ayrı ayrı

oranları ile çarpar ve e_1 ile e_2 nin kutuplaşma bağıntısına bağlı olarak elde edilen sonuçlar toplar veya çıkarır.

d) $\frac{R_f}{R_n} < 1$ ise her iki gerilimi böler ve sonuç değerlerini e_1 ve e_2 nin kutuplaşma bağıntısına bağlı olarak toplar veya çıkarır.

(a,b,c,d durumlarında sadece e_1 ve e_2 iki giriş geriliminin olduğunu kabul ettik) Sadece bir tek e_1 giriş gerilimi ve $\frac{R_f}{R_n} = 1$ oranına sahip olan bir AMPLİFİKATÖR, İŞARET DEĞİŞTİRİCİ ($e_0 = -e_1$) olarak tanımlanabilir. Böylece amplifikatör toplama, çıkarma, bir sabit ile çarpma, bir sabite bölme işlemlerinde kullanılabilir.

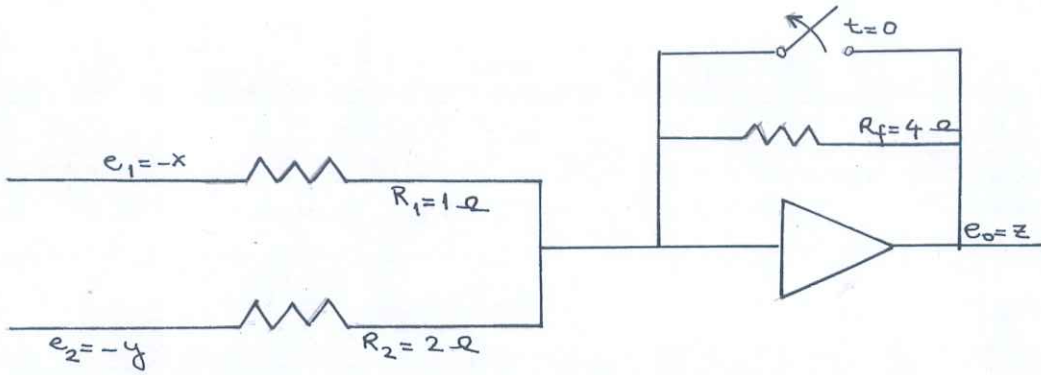
Çıkış gerilimi e_0 hesaplama başlamadan önce sıfır olacaktır. ($t < 0$).

Yani $R_f = 0$ olduğu zaman $e_0 = 0$ olacaktır. R_f ye paralel bir düğmenin kullanımı ile $t = 0$ olduğunda devrenin kapalı olduğu; $t > 0$ olduğunda ise devrenin açık olduğu görülebilir. Geri besleme direncine paralel olan düğme, TEKRAR ÇALIŞTIRMA ayarlayıcılarını içine alır.

Amplifikatörün çalışmasının göstermek için;

$$z = 4x + 2y \quad (1.6)$$

basit denklemini ele alalım ve bu denklemin bilgisayar-daki simulasyonunu gösterelim. Buradaki işlem toplama ve bir sabit ile çarpma olduğundan amplifikatöre kesin olarak ihtiyaç vardır.



Şekil 1-2

$$-\frac{R_f}{R_1} e_1 = 4x$$

$$-\frac{R_f}{R_2} e_2 = 2y$$

Eğer x ve y nin her ikisinde pozitif ise, analogi e_1 ve e_2 gerilimlerinin negatif gerilimlerle bilgisayarda simgeleneneceğini gösterir. Çünkü dirençlerin oranları daima pozitif olmak zorundadır (Negatif direncin hiç bir fiziksel anlamı yoktur).

$$e_1 = -x \quad \text{ve} \quad e_2 = -y \quad \text{dersek} \quad \frac{R_f}{R_1} = 4, \quad \frac{R_f}{R_2} = 2$$

şeklinde pozitif direnç oranları elde ederiz. Böylece DEVRE DENKLEMİ:

$$e_0 = -\left(\frac{4}{1} e_1 + \frac{4}{2} e_2\right) \quad (1-6.1)$$

elde edilir.

Eğer problemin değişkenleri ve onları simgeleyen bilgisayar gerilimleri arasında doğrudan bir bağıntı mev-

cut ise amplifikatörün her volt'u (e_0), z 'in bir BİRİMİ'ni gösterecektir. Problemin x ve y değişkenleri ile, e_1 ve e_2 bilgisayar gerilimleri arasındaki negatif bağıntıyı, amplifikatörün işaret değiştiricisinin sağlaması nedeni ile; çıkış gerilimi e_0 ın z in işareti ile bir POLARİTESİ vardır. Örneğin $x=5$ birim, $y=10$ birim ise $e_1=-5$ volt, $e_2=-10$ volt olacaktır. Bu değerleri (1-6) denklemine yerleştirecek olursak,

$$e_0 = - \left[\frac{4}{1}(-5) + \frac{4}{2}(-10) \right] = 40 \text{ volt} \quad (1-6.2)$$

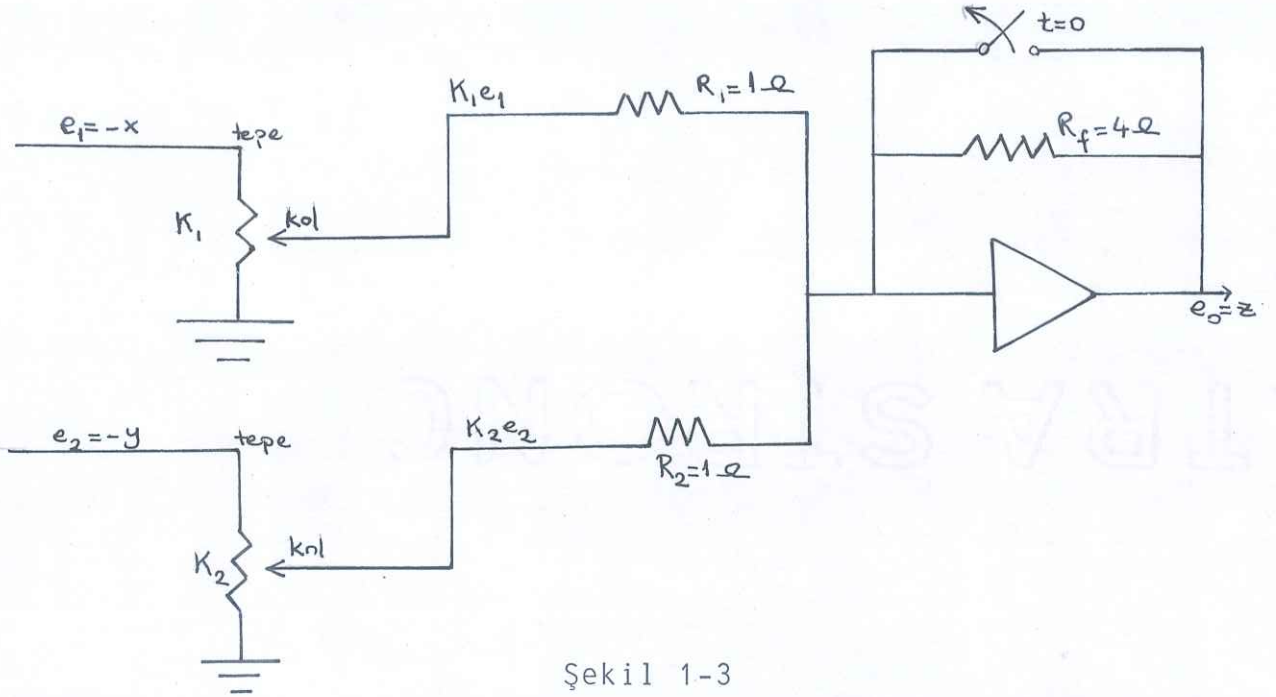
değerini elde ederiz.

1.4.1. SONUÇ:

Yukarıdaki örnekle e_1 , e_2 , e_0 gerilimleri ile, x, y, z değerleri arasında DİREKT BİR BAĞINTI olduğu durumları inceledik. Birincinin her bir voltu, diğerinin her birimine eşdeğer idi. Aşıkardır ki böyle direkt bağıntılar genelde pek fazla değildir. Bunun nedeni de problem değerlerinin istenilen sonlu büyüklükte olabildiği halde, gerilimlerin ± 100 volt ile sınırlandırılmış olmasıdır. Genel bir programlamada problem değişkenleri ve gerilimler, teknikte BÜYÜKLÜK CETVELLERİ olarak bilinen ÖLÇÜM ÇARPANLARI ile belirlenirler.

1.5. KATSAYI POTANSİYOMETRELERİNİN KULLANIMI

Katsayılar tam sayılar olmadığı zaman $\frac{R_f}{R_n}$ oranlarını kullanarak dirençleri tek başına bilgisayarda simgelemek pratikliğini kaybeder. Çünkü nominal direnç değerinin sonsuz değerleri gerekecektir. Böyle katsayıları elde etmek için şekil (1-3) de görüldüğü gibi potansiyometreler bir devreye dönüştürülür. Böylece katsayılar en az üç desimal üzerinde elde edilebilir.



Şekil 1-3

Çoğu analog bilgisayarlarda potansiyometreler 10,000 Ω 'dan 100,000 Ω 'a kadar değişen helis şeklinde sarılmış (yaklaşık 10 sarım) tel aletlerdir. Şematik gösterimle şekil (1-3) deki gibi veya sadece bir 0 ile gösterilirler. e_1 gibi bir gerilim potansiyometrenin

tepesine (giriş terminaline) uygulandığı zaman, potansiyometrenin tepesi ve hareketli kol arasındaki direnç boyunca bir gerilim düşüşü, giriş geriliminin bir parçası olan kolda bir gerilim oluşturur. Kol gerilimi bu sefer giriş gerilimine dönüşür. Kolun durumunu değiştirmek, potansiyometrenin kolu ile tepesi arasındaki direnci değiştirir. Kol potansiyometrenin nümerik bölümlerine ayarlanır; böylece potansiyometredeki giriş geriliminin ne olduğu koldaki göstergeden öğrenilir. Buradan, katsayı potansiyometresinin bir voltaj (gerilim) bölücü olarak kullanıldığı ve daima ≤ 1 değerinde olduğu sonucu çıkarılır.

1.5.1. ÖRNEK: $z=3,52x-2,37y$ denklemini bilgisayarda programlayarak KATSAYI POTANSİYOMETRESİ'nin kullanımını gösterelim. Buradaki işlemlerin çıkarma ve bir sabit ile çarpma olmasından dolayı AMPLİFİKATÖR'e gerek vardır.

Genel denge denklemi şu şekildedir.

$$e_0 = z = - \left[\frac{K_1 e_1 R_f}{R_1} + \frac{K_2 e_2 R_f}{R_2} \right] \quad (1.7)$$

buradan;

$$- \frac{K_1 e_1 R_f}{R_1} = 3,52x, \quad - \frac{K_2 e_2 R_f}{R_2} = -2,37 y \quad (1.8)$$

denklemleri elde edilir.

$K_n \ll 1$ olduğunu biliyoruz.

Direnç değerleri $R_f=4\text{-ohm}$ $R_1=R_2=10\text{ohm}$ olarak seçebiliriz.

Bu değerler ile analogi şu hale gelir.

$$-K_1 e_1 = 0,88 x, \quad -K_2 e_2 = -0,592y \quad (1.9)$$

Bu ifadeler şunu gösterir. Eğer POZİTİF POTANSİYOMETRE ÖLÇEĞİ elde etmek istiyorsak; (negatif olanların hiç bir fiziksel anlamı yoktur) problemin değerleri ile bilgisayar gerilimleri arasında şu bağıntılar olmalıdır.

$$e_1 = -x \quad e_2 = y \quad (1.10)$$

Bunları (1.9) denkleminde yerine koyarak aşağıdaki pozitif potansiyometre katsayılarını elde ederiz.

$$K_1 = 0,88, \quad K_2 = 0,592 \quad (1.11)$$

Bu işlem, direnç değerleri ve potansiyometre ölçeğinden oluşan gerekli ELEMEN DEĞERLERİ'ni gösterir. Aynı zamanda amplifikatörün işaret değiştirici özelliğini dengelemek için gerekli giriş gerilimlerinin polaritesi oluşturulur ve böylece z' 'in işaretinin çıkış gerilimi e_o 'a tekabül etmesi için POLARİTE oluşur. Problem değişkenlerinin büyüklüğü ile onlara tekabül eden gerilimler arasında doğrudan bir bağıntı olması nedeni ile e_o çıkış geriliminin değeri direkt olarak z' 'nin büyüklüğünü gösterir.

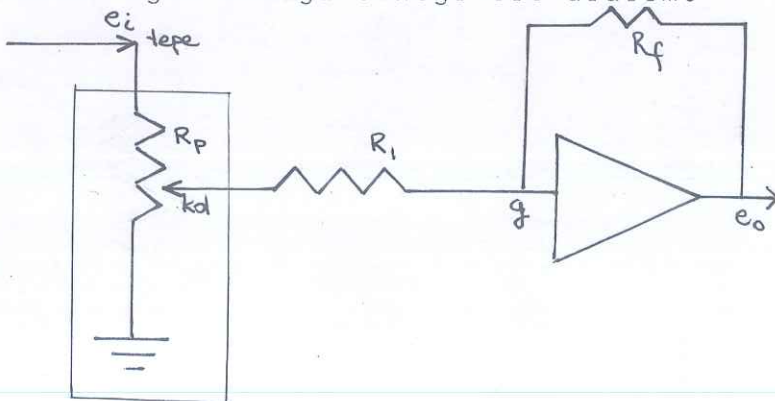
1.6. POTANSİYOMETRE ÖLÇÜ İŞARETİNİ AYARLAMA

Özel bir problem katsayısı için potansiyometre ölçüsü, problem denklemi ile ilgili devre denklemi arasındaki analogiden elde edilmekte idi. Fakat, bu elde edilmiş olan potansiyometre ölçüsü potansiyometrenin kadran göstergesinde direkt olarak okunamaz. Bir katsayı potansiyometresinin kadran göstergesinin ölçüsü, potansiyometrenin kolundaki empedansa bağlıdır. Böylece kadran, özel kol empedansı değerine ayarlandığı zaman elde edilen ölçüm işareti sadece bu empedans değeri için doğrudur. Çoğu analog bilgisayar uygulamalarında potansiyometrenin kolundaki empedans, potansiyometre kolunun bağlanmış olduğu devreye bağlıdır.

Ölçü işareti ayarlamaları doğru potansiyometre ölçümleri elde etmek için yapılmalıdır. Çoğu analog bilgisayarlar, bu ölçü işareti hatalarını dengelemek için basitleştirilmiş bir yöntem olan GEÇERSİZ (HÜKÜMSÜZ) devreler kullanırlar.

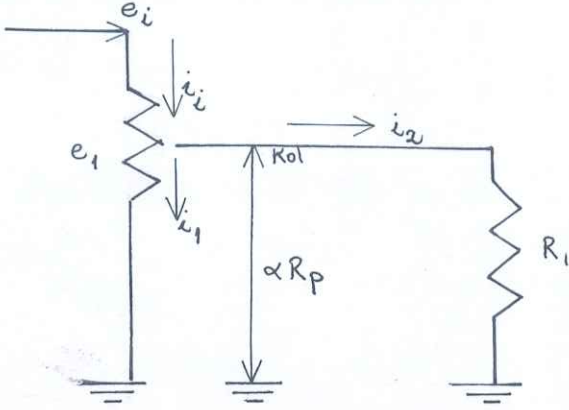
1.6.1. ÖRNEK

Potansiyometre kolunun amplifikatörün giriş direncine bağlı olduğu örneği ele alalım.



Şekil 1-4 a

Amplifikatörün (9) toplama bağlantı yerinin aslında sıfır potansiyelde (yerde) olduğunu biliyoruz.



Şekil 1-4 b

(1.4-a) şeklindeki devre (1.4-b) şeklindeki devreye denktir.

KİRCHOFF kanunundan $i_i = i_1 + i_2$

Potensiyometrenin tüm direncini R_p ile ve bu direncin koldan yere kadar olan kısmını α ile gösterelim. Yukarıdaki akım bağıntısı şu şekle dönüşecektir.

$$\frac{e_i - e_1}{R_p (1 - \alpha)} = \frac{e_1}{\alpha R_p} + \frac{e_1}{R_1} \quad (1.12)$$

$$\frac{e_i - e_1}{R_p (1 - \alpha)} = \frac{R_1 e_1 + \alpha R_p e_1}{\alpha R_p R_1} \quad (1.13)$$

$$\alpha R_1 (e_i - e_1) = (1 - \alpha) (R_1 e_1 + \alpha R_p e_1) \quad (1.14)$$

$$\alpha R_1 e_i - \alpha R_1 e_1 = R_1 e_1 + \alpha R_p e_1 - \alpha R_1 e_1 - \alpha^2 R_p e_1 \quad (1.15)$$

$$\alpha R_1 e_i = e_1 [R_1 + \alpha R_p - \alpha^2 R_p] \quad (1.16)$$

$$\frac{e_1}{e_i} = \frac{\alpha R_1}{R_1 + \alpha R_p - \alpha^2 R_p} \quad (1.17)$$

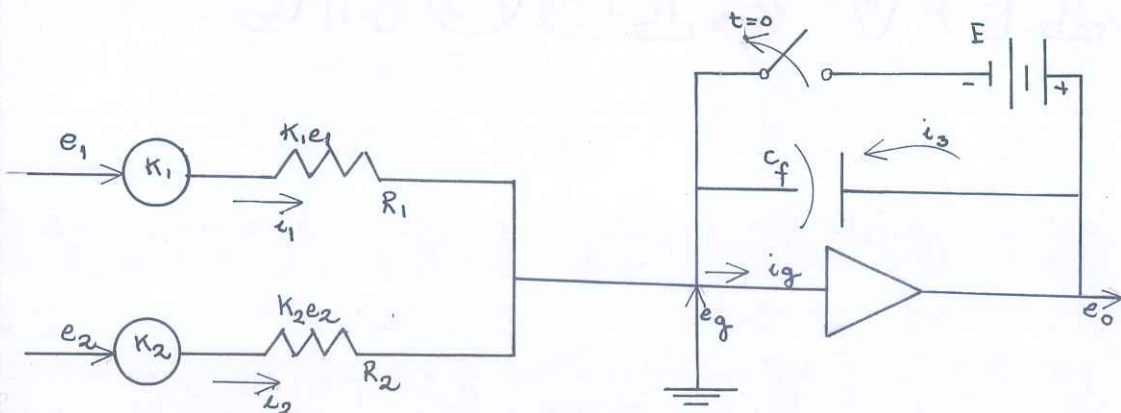
$\frac{e_1}{e_i}$ program analogjisinden elde edilmiş olan TEORİK PO-TANSİYOMETRE ÖLÇÜSÜ'dür. (K)

α kesri ise GERÇEK KADRAN ÖLÇÜSÜ'dür.

Bu ise teorik potensiyometre ölçüsünün gösterdiği GİRİŞ-KOL GERİLİM BAĞINTISI'nı $R_p = 0,1 \, \Omega$; R_1 (kol direnci) $= 1 \, \Omega$ olarak kabul edersek, potensiyometre ölçüsü $K = 0,488$ olarak anolojiden elde edilirse

$\alpha = 0,500$ bulunur.

1.7. İNTEGRATÖRLER:



Şekil 1-5

Şebeke; R_1 ve R_2 dirençleri (integre edilecek her gerilim için bir giriş direnci olmalıdır), geri besleme kısmında gösterilen kapasite elemanından oluşur. Çıkış gerilimi e_o , değiştirilmiş giriş gerilimlerinin cebirsel toplamının integralinin negatifine eşittir. Amplifikatörün dizaynı nedeni ile, integrasyon saniyelerle ölçülmüş zamana göre oluşturulur.

Şekil (1.5) e göre KIRCHHOFF kanununu yazalım

$$i_1 + i_2 + i_g = i_g \quad (1.18)$$

Buna denk olarak gerilim notasyonunu uygulayacak olursak;

$$\frac{K_1 e_1 - e_g}{R_1} + \frac{K_2 e_2 - e_g}{R_2} + C_f \frac{d}{dt} (e_o - e_g) = i_g \quad (1.19)$$

$e_g \approx 0$ $i_g \approx 0$ levha akımı ve geriliminin ihmal edilebilir olduğunu kabul etmiştik.

$$\frac{K_1 e_1}{R_1} + \frac{K_2 e_2}{R_2} + C_f \frac{d}{dt} e_o = 0 \quad (1.20)$$

Başlangıç geriliminin E olduğunu şekilden görebiliriz.

$$d_{eo} = - \left(\frac{K_1 e_1}{R_1 C_f} + \frac{K_2 e_2}{R_2 C_f} \right) dt \quad (1.21)$$

$$t > 0 \quad \int_E^{e_o} de_o = - \int_0^t \left(\frac{K_1 e_1}{R_1 C_f} + \frac{K_2 e_2}{R_2 C_f} \right) dt \quad (1.22)$$

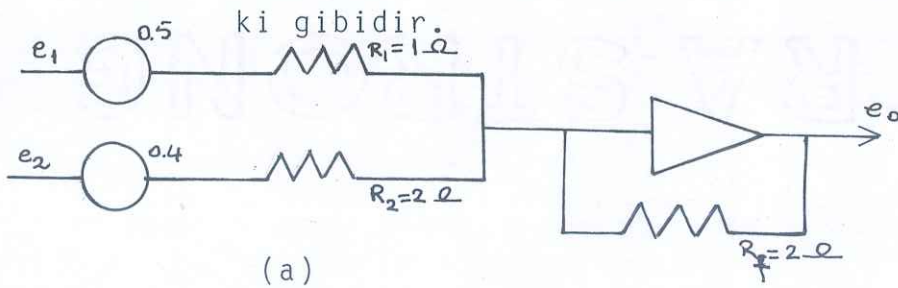
$$e_o = - \int_0^t \left(\frac{k_1 e_1}{R_1 C_f} + \frac{k_2 e_2}{R_2 C_f} \right) dt + E \quad (1.23)$$

e_o : integratörün çıkış gerilimi.

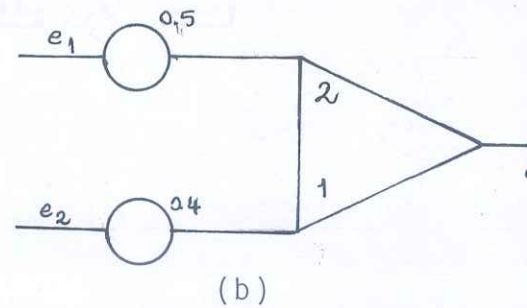
Bu örnekte türetme işleminde basetlik olsun diye sadece iki giriş gerilimi kullandık. Oysa çözülecek problemin karmaşıklığına göre daha fazla sayıda giriş gerilimin kullanabiliriz.

1.8. SEMBOLİK GÖSTERİLİM

Bir problemi bilgisayara uygularken kullanılacak devre diyagramının bir taslağını yapmamız gerekir. Bu işlemi yaparken, bilgisayarda herhangi benzer bir problemin de devresinin kurulması mümkün olsun diye, kullanılacak notasyonların basit olmasına dikkat edilmelidir. Amplifikatörler için kullanılan sembolik notasyonlar aşağıda-



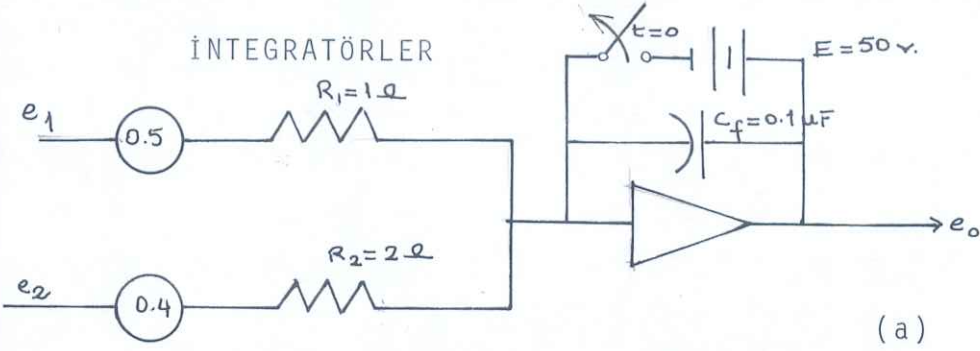
Şekil 1-6



AMPLİFİKATÖRLER:

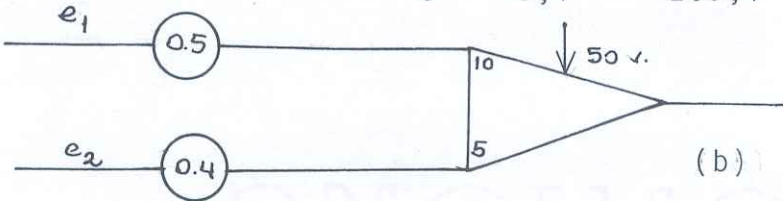
$$e_o = - \left(\frac{k_1 e_1 R_f}{R_1} + \frac{k_2 e_2 R_f}{R_2} \right) \quad (1.24)$$

$$e_0 = - \left(\frac{0,5 \cdot e_1 \cdot 2}{1} + \frac{0,4 e_2 \cdot 2}{2} \right) = -(e_1 + 0,4 e_2) \quad (1.25)$$



$$e_0 = - \int_0^t \left(\frac{k_1 e_1}{R_1 C_f} + \frac{k_2 e_2}{R_2 C_f} \right) dt + E \quad (1.26)$$

$$e_0 = - \int_0^t \left(\frac{0,5 e_1}{0,1} + \frac{0,4 e_2}{2 \cdot 0,1} \right) dt + 50 \quad (1.27)$$



Şekil 1-7

1.9. OPERATÖR NOTASYONU:

Çeşitli fiziksel durumların matematiksel modeli olan bir denklemi çözmek için bilgisayar programlanır; böylece bu problemin modeldeki gibi ayrı matematiksel formu olacaktır. Komputer ve fiziksel problem arasındaki analogiyi kurmak için, operatör notasyonu kullanımı gerekecektir. Bu ise diferansiyel ve integrasyon gibi belli

işlemleri içeren operatörlerin kullanımını gerektirir. Böyle operatörler, bir diferansiyel denkleme uygulandıkları zaman dif. denklemin çözümü için bilgisayarın yapması gereken işlemleri gösterirler.

D ve 1/D diferansiyel ve integrasyon için

OPERATÖR NOTASYONLARI dır.

$$D^n x = \frac{d^n x}{dt^n} \quad , \quad \text{den} \quad \frac{1}{D} D^n x = \int D^n x dt = D^{n-1} x \Big|_{D^{n-1} x_0} \quad (1.28)$$

$D^{n-1} x_0$, $D^{n-1} x$ 'in BAŞLANGIÇ DEĞERİ' dir.

$$D^{n-1} x = \frac{1}{D} D^n x + D^{n-1} x_0 \quad (1.29)$$

Bu denklem bir dif. denklemin çözümü için gerekli işlemleri göstermektedir.

2. dereceden bir dif. denklem düşünelim.

$$n=2 \quad \frac{dx}{dt} = \int \frac{d^2 x}{dt^2} dt + \left(\frac{dx}{dt} \right)_0 \quad (1.30)$$

şeklinde yazabiliriz.

1.10 BÜYÜKLÜK CETVELİ

Büyüklik cetveli analog bilgisayarda programlama işlemlerinde önemli yer oynar. Bilgisayar gerilimlerinin

± 100 volt ile sınırlanmış olmasından dolayı, problemin değişkenleri büyük değerler aldığı zaman, bu büyüklükleri gösteren bazı kavramlar olmalıdır. Böylece problem değişkenleri bilgisayarda gerilimlerle simgelenebilir ve tekrar problem değerlerine dönüşebilir.

Ölçüm çarpanları, büyüklük cetveli denilen bir proses ile bu bağıntıyı göstermektedir.

ölçüm çarpanları, gerilimlerin simgelendiği değişkenlerde beklenen maksimum değerleri, maksimum müsaade edilebilir amplifikatör çıkış gerilimlerine orantılamakla elde edilir. Örneğin; dy/dt , (hız) e ile kompüterde simgelenecek olan problem değişkeni olsun $e = S\dot{y}$ ile bu bağıntıyı ifade edebiliriz. Burada S ölçüm çarpanıdır. Eğer $\dot{y}$, birim saniyedeki hızı gösteriyorsa, ölçüm çarpanı S de birim saniyedeki hız olmak zorundadır.

$$S = \frac{100}{\dot{y} \text{ nin tahmini maksimum değeri}} \text{ Volt / (m/sn)}$$

ile ölçüm çarpanı hesaplanabilir. Eğer fiziksel değişkenlerin maksimum değerleri çok büyük ise; ölçüm çarpanı çok küçük olabilir. Böylece çıkış gerilimi doğru bir çözüm için çok küçük olacaktır. Diğer taraftan değişkenlerin maksimum değeri çok düşük bekleniyorsa, ölçüm çarpanı çok büyük olacaktır ve maksimum amplifikatör çıkış gerilimi, limit gerilimlerini aşacaktır. Bu yüzden, uygun ölçüm çarpanlarının seçimi bir derece kadar bilgisa-

yarda simgelenecek olan değişkenlerin büyüklüklerine bağlıdır.

Bazen hakkında az şey bilinen fiziksel bir sistemi simüle ederken, keyfi ölçüm çarpanlarının seçimi ile komputerde keyfi çözümler elde edebiliriz ve gerekirse bu keyfi çözümden elde edilen bilgilere dayanarak gerçek (tam) ölçüm çarpanını bulabiliriz.

1.11. ANALOG SİMULASYON İÇİN GENEL BİR PROGRAMLAMA

1) Fiziksel problemin matematiksel modelini kuran denklemleri saptamak. Bunlar genellikle çeşitli şekillerdeki diferansiyel denklemler ve hazırlanmış cebirsel ifadelerle olur.

2) Her diferansiyel denklemi en yüksek dereceden türevi için çözmek. Onu takip eden daha düşük derecedeki türevler için ifadeleri yazmak ve ilgili cebirsel eşitlikleri en uygun biçimde düzenlemek

3) 2. adımla elde edilmiş denklemlere uygun ölçüm çarpanlarını bulmak (Bu denklemler gerilimler cinsinden olacaktır).

4) Amplifikatörleri ve R-C şebekelerini gösteren DEVRE DİYAGRAMINI tasarlamak.

5) Devre diyagramından devre denklemlerini yazmak Bu denklemler; gerilimler, dirençler, kapasitorlar, potansiyometreler ve devre sabitlerinden oluşacaktır.

6) Komputer gerilimleri olarak görülen fiziksel büyüklüklerin maksimum beklenen değerlerini saptamak ve ayrı ayrı ölçüm-çarpanı büyüklüklerini hesaplamak.

7) 3. adım ile 5. adım arasında belirlenen denklemlerdeki analogiden, sabit giriş gerilimlerini, başlangıç şartı gerilimlerini, dirençleri, kapasiteleri, potansiyometre değerlerini belirlemek.

8) 7. adımda belirlenen değerleri, devre diyagramındaki uygun sembollere uydurmak.

(1.29) denkleminde,

$$\dot{y} = \frac{1}{D} [\ddot{y}] + \dot{y}_0 = \frac{1}{D} (-9,8) + \dot{y}_0 \quad (2.2-a)$$

$$y = \frac{1}{D} [\dot{y}] + y_0 \quad (2.2-b)$$

denklemleri elde edilir.

(2.2-a) ve (2.2-b) denklemleri gerekli bilgisayar işlemlerini ve iki integratörün gerektiğini gösterir (2.2-a) ve (2.2-b) denklemlerinin ölçüm çarpanları sırası ile S_1 ve S_2 olsun Buradan aşağıdaki GERİLİM FORMUNDAKİ denklemleri elde ederiz.

$$e_1 = -S_1 \dot{y} = -\frac{1}{D} [-S_1 (9,8)] - S_1 \dot{y}_0 \quad (2.2-c)$$

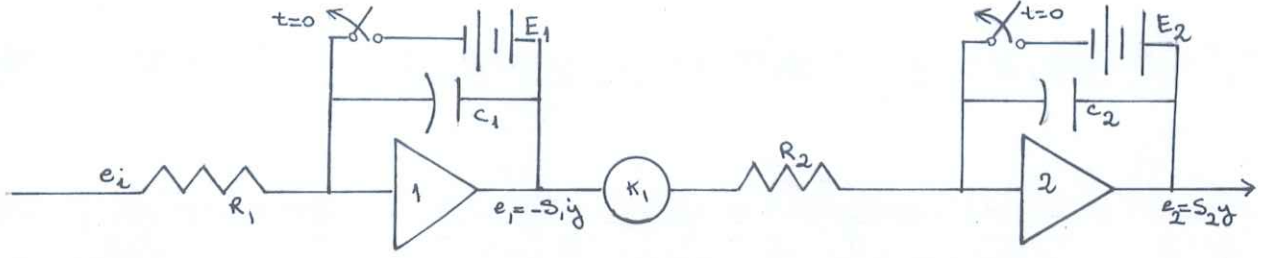
$$e_2 = +S_2 y = -\frac{1}{D} [-S_2 \dot{y}] + S_2 y_0 \quad (2.2-d)$$

$e_1 = -S_1 \dot{y}$ yazmakla ($S_1 \dot{y}$ yazmak yerine) e_1 geriliminin $\dot{y}$ nin daima negatif miktarını gösterdiğini anlıyoruz. $\dot{y}$ pozitif olduğu zaman e_1 negatif olacaktır, $\dot{y}$ negatif olduğu zaman e_1 pozitif olacaktır. Bu ayarlamayı yapmakla başlangıç şartı terimine bir negatif işaret ilave edilir; böylece sonraki terimlerde değişkenle aynı işaretli olma bağıntısını muhafaza ederler. İntegral operatörünün önündeki negatif işaret tüm gerilim denklemini içerecektir. Zira bu işaret amplifikatörün ters işaret özelliğini

belirler. İntegral teriminin parantez içindeki her teriminin işareti PROBLEM-DENKLEMİNDEN gelir. ((2.2-a) da olduğu gibi) (2.2-d) denkleminde $e_2 = S_2 y$ yazılır. Çünkü e_2 gerilimi y değişkeni ile daima AYNI işaretli olacaktır. Başlangıç şartı teriminin önündeki işaret aynen bırakılır; çünkü bu terimin değişkenle işaret bağıntısı aynıdır. Bununla beraber eğer, e_2 ile y arasında aynı işaretli olma bağıntısı mevcut ise amplifikatörün ters işaret özelliğide dengeyi sağlamalıdır. Bu ise parantez içindeki integral terimini eksi ile çarpmakla olur (2.2-b) denkleminde $\dot{y}$ pozitif görüldüğü halde (2.2-d) denkleminde $-S_2 \dot{y}$ olarak karşımıza çıkar. (Eğer (2.2-b) denkleminde $\dot{y}$ nın önünde negatif işaret olsa idi, (2.2-d) denkleminde parantezin içi $S_2 \dot{y}$ olacaktı).

(2.2-d) denkleminde parantezin içindeki negatif işaret (2.2-d) denklemini simule eden amplifikatörün GİRİŞ GERİLİMİ'nin $\dot{y}$ nın negatifi ile orantılı olması gerektiğini gösterir. Genel olarak, gerilim formundaki bir problem denkleminde parantez içindeki büyüklüklerin işareti problemi simule eden amplifikatör ile giriş gerilimleri arasındaki büyüklük-gerilim işaret bağıntısını belirler. Problemin değişkenleri ve gerilimler arasındaki işaret bağıntıları yukarıdaki şartlara uygun olarak programcı tarafından keyfi olarak seçilir.

(2.2-c) ve (2.2-d) denklemlerinden aşağıdaki DEVRE DİYAGRAMI'nı çizebiliriz.



Şekil 2-2

(2.2-c) ve (2.2-d) denklemlerinden anaoloji ile aşağıdaki DEVRE DENKLEMLERİ'ni elde ederiz.

$$e_1 = -S_1 \dot{y} = -\frac{1}{D} \left[\frac{e_{i1}}{R_1 C_1} \right] + E_1 \quad (2.3-a)$$

$$e_2 = S_2 \dot{y} = -\frac{1}{D} \left[-\frac{K_1 S_1 \dot{y}}{R_2 C_2} \right] + E_2 \quad (2.3.-b)$$

Bu denklemler aşağıdaki bağıntıdan çıkarılmıştır.

$$e_0 = -\int_0^t \left[\frac{K_1 R_1}{R_1 C_f} + \frac{K_2 e_2}{R_2 C_f} \right] dt + E$$

gerilim formundaki denge denklemlerinde olduğu gibi negatif işaret her integral operatörünün önüne gelmektedir. Bu işaret yine amplifikatörün ters işaretli olma özelliğini göstermektedir. Gerilim formundaki bağıntıda olduğu gibi problem değişkenleri ve gerilimler arasındaki işaret bağıntısı denge denklemlerinde de geçerlidir ve bu bağıntı parantez içinde kendini göstermektedir. Sabit olan kaynak gerilimi (2.3-a denklemindeki e_i gibi) devre denklemlerinde daima pozitif olarak yazılmaktadır.

Gerilim formundaki denklemlerle devre denklemlerini karşılaştırırsak;

$$\frac{e_{i1}}{R_1 C_1} = -S_1 9,8 \quad (2.4-a) \quad E_1 = -S_1 (\dot{y}_0) = -S_1 (14,7) \quad (2.4-b)$$

$$\frac{K_1 S_1 \dot{y}}{R_2 C_2} = S_2 \dot{y} \quad (2.4-c) \quad E_2 = S_2 y_0 = 0 \quad (2.4-d)$$

denklemleri elde edilir.

Yukarıda yazılan analogilerden aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz:

(2.4-a) gerçek bir analogi değildir. Çünkü denklemin benzer terimleri ters işaretlidir. Bununla beraber analogi doğru hale getirilebilir. Bu ise e_i nin negatif bir gerilim olarak alınmasıyla sağlanabilir. Bu durumda analogi sabit giriş geriliminin doğru kutuplandığını gösterir. Yalnız analogide çelişkili olarak işaretin belirlenmemiş olan sadece e_i olacaktır.

(2.4-b) deki gibi başlangıç şartı gerilimini içeren analogiler içinde yukarıdaki çelişki geçerlidir. Burada analogi başlangıç gerilimi E_1 nin negatif olması gerektiğini gösterir. Eğer problemin başlangıç şartı $\dot{y}_0 = -14,7$ m/sn olsa idi, başlangıç gerilimi E_1 pozitif olacaktı.

(2.4.-c) denklemi görüldüğü gibi doğru bir analogidir. Eğer doğru bir analogi olmasa idi bir PROGRAM HATA'sı içerecekti. (2.4.-c) denkleminden analogide hiç bir işaret çelişkisi olmadığıda görülebilir.

(2.4-d) denkleminden de analogide problem değişkenlerinin kısaltılabileceği görülür. Eğer değişkenler kısaltılmasa idi, bir programlama hatası olacaktı.

Yazılan bu analogileri kontrol ettikten sonra, programlamadaki sonraki adım, problem değerlerini ayrı ayrı hesaplamaktır. Dirençleri, kapasite değerlerini ve giriş gerilimlerini hesaplamak için ÖLÇÜM ÇARPANLARI bilinmelidir. Bu problemde maksimum hız 14,7 m/sn dir. Maksimum yer değiştirmeyide şöyle hesaplayabiliriz.

$$\dot{y} = \sqrt{2gy} \quad (2.5)$$

denklemden,

$$y_{\max} = \frac{\dot{y}_0^2}{2g} = \frac{(14,7)^2}{2(9,8)} = 11,03 \text{ m/sn} \quad (2.6)$$

$$S_1 = \frac{100}{\dot{y}_{\max}} = \frac{100}{14,7} = 6,8027 \text{ volt / (m/sn)} \quad (2.7-a)$$

$$S_2 = \frac{100}{y_{\max}} = \frac{100}{11,03} = 9,0703 \text{ volt/m}$$

(2.4-a) denkleminden $e_i = -66,67 \text{ volt}$,

(burada $R_1 = 1 \Omega$ $C_1 = 1 \mu f$ iterasyonla bulunmuştur)

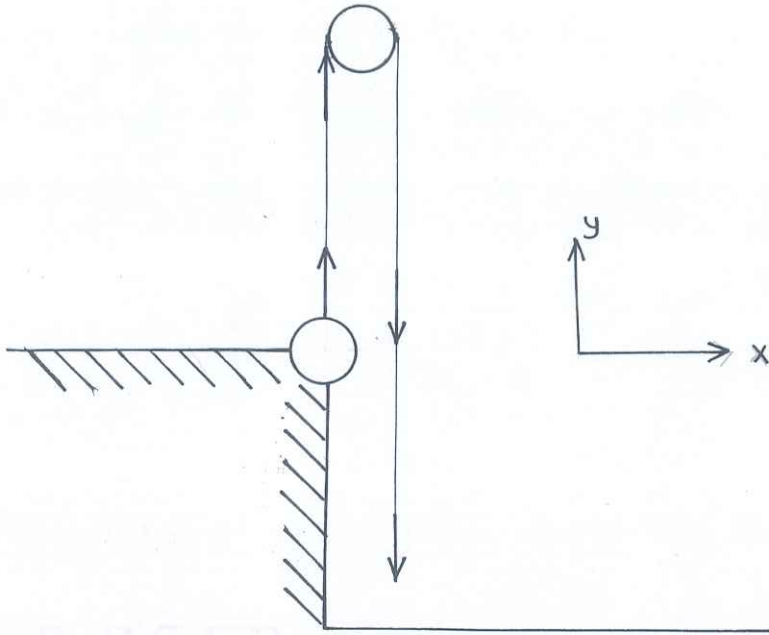
(2.4-b) denkleminde $E_1=100$ volt,

(burada da $R_2=0,68\Omega$, $C_2=1\mu f$ iterasyonla bulunmuştur)

(2.4-c) denkleminde $K_1=0,907$

olarak hesaplanır.

Nümerik çözümdeki esas hız ve esas yer değıştir-
meleri hesaplamak için sistemin hareketini inceleyelim.



Şekil 2-3

Top düşey olarak (hemen hemen düşey) yukarı doğru yüksek bir binanın köşesinden fırlatanın elini $14,7$ m/sn ile terk ediyor ve aşağıya inerken köşeye çok yakın geçiyor. Noktalı çizgiler cismin hakiki yolunu göstermiyor. Başlangıç noktasını topun, fırlatanın elini terkettiği noktada alalım ve y eksenini düşey ve yukarı doğru pozitif olsun.

Başlangıçtaki y_0 yer değıştermesi 0 dır ve ilk hız $v_0=14,7$ m/sn dır ve ivme $9,8$ m/sn² dır.

Herhangi bir andaki hız

$$v=v_0+at = 14,7 \text{ m/sn}-9,8 \text{ m/sn}^2 \cdot t \quad (2.8)$$

Herhangi bir andaki koordinat

$$y=v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = 14,7 \text{ m/sn} - \frac{1}{2} 9,8 \text{ m/sn}^2 \cdot t^2 \quad (2.9)$$

Herhangi bir y koordinatı için hız

$$v^2=v_0^2 + 2 ay =(14,7 \text{ m/sn})^2 - 19,6 \text{ m/sn}^2 \cdot y \quad (2.10)$$

olarak hesaplanır.

(a) $t=1$ sn olunca

$$y = 9,8 \text{ m} \quad v = 4,9 \text{ m/sn}$$

dir.

Top başlangıç noktasının $9,8$ m yukarısındadır (y pozitifdir) ve yukarı doğru (v pozitifdir) $4,9$ m/sn lik bir hıza sahiptir.

$t=4$ sn olunca

$$y = -19,6 \text{ m} \quad v = -24,5 \text{ m/sn}$$

olur.

Top en yüksek noktasını geçmiş ve başlangıç noktasının $19,6$ m altındadır (y negatifdir) Hızı aşağıya doğru (v negatifdir) ve şiddeti $24,5$ m/sn dir. Dikkat edil-

melidir ki eriştiği en yüksek noktayı veya buraya ne zaman geldiğini bulmak zorunlu değildir. Hareketin denklemleri, yer değiştirme ve hızın herhangi bir andaki değerini, top ister yukarıya doğru çıkıyor, ister aşağıya iniyor olsun, verir.

Top başlangıç noktasının 6,125 m yukarısında olunca

$$y = +6,125$$

$$v^2 = 96,5 \text{ m}^2/\text{sn}^2, \quad v = \pm 9,8 \text{ m/sn}$$

bulunur.

Top bu noktadan bir defa yukarıya bir defada aşağıya doğru olmak üzere iki defa geçer. Yukarı doğru çıkarken hız + 9,8 m/sn, aşağıya doğru inerken -9,8 m/sn dir.

En yüksek noktada $v=0$ dir. 0 halde

$$y = + 11 \text{ m}$$

bulunur.

En yüksek noktaya çıkması için geçen zaman $v=v_0+at$ denkleminde $v=0$ konularak $t=1,5$ sn olarak hesaplanabilir.

Topun 4 sn sonra yere düştüğünü kabul edelim.

(1.29) denkleminde,

$$\dot{y} = \frac{1}{D} [\ddot{y}] + \dot{y}_0 = \frac{1}{D} [9,80] + \dot{y}_0 \quad (2.13-a)$$

$$y = \frac{1}{D} [\dot{y}] + \cancel{y_0}^0 \quad (2.13-b)$$

$$x = \frac{1}{D} [\dot{x}_0] + \cancel{x_0}^0 \quad (2.13-c)$$

Aynı zamanda,

$$L = r - x \quad (2.13-d)$$

denklemini de ilave etmemiz gerekir.

Yukarıda elde ettiğimiz denklemleri ÖLÇÜM ÇARPANLARI ile çarpanak GERİLİM FORMUNDAKİ denklemleri elde edebiliriz.

$$e_1 = -S_1 x = -\frac{1}{D} [S_1 \cdot \dot{x}_0] - \cancel{S_1 x_0}^0 \quad (2.13-e)$$

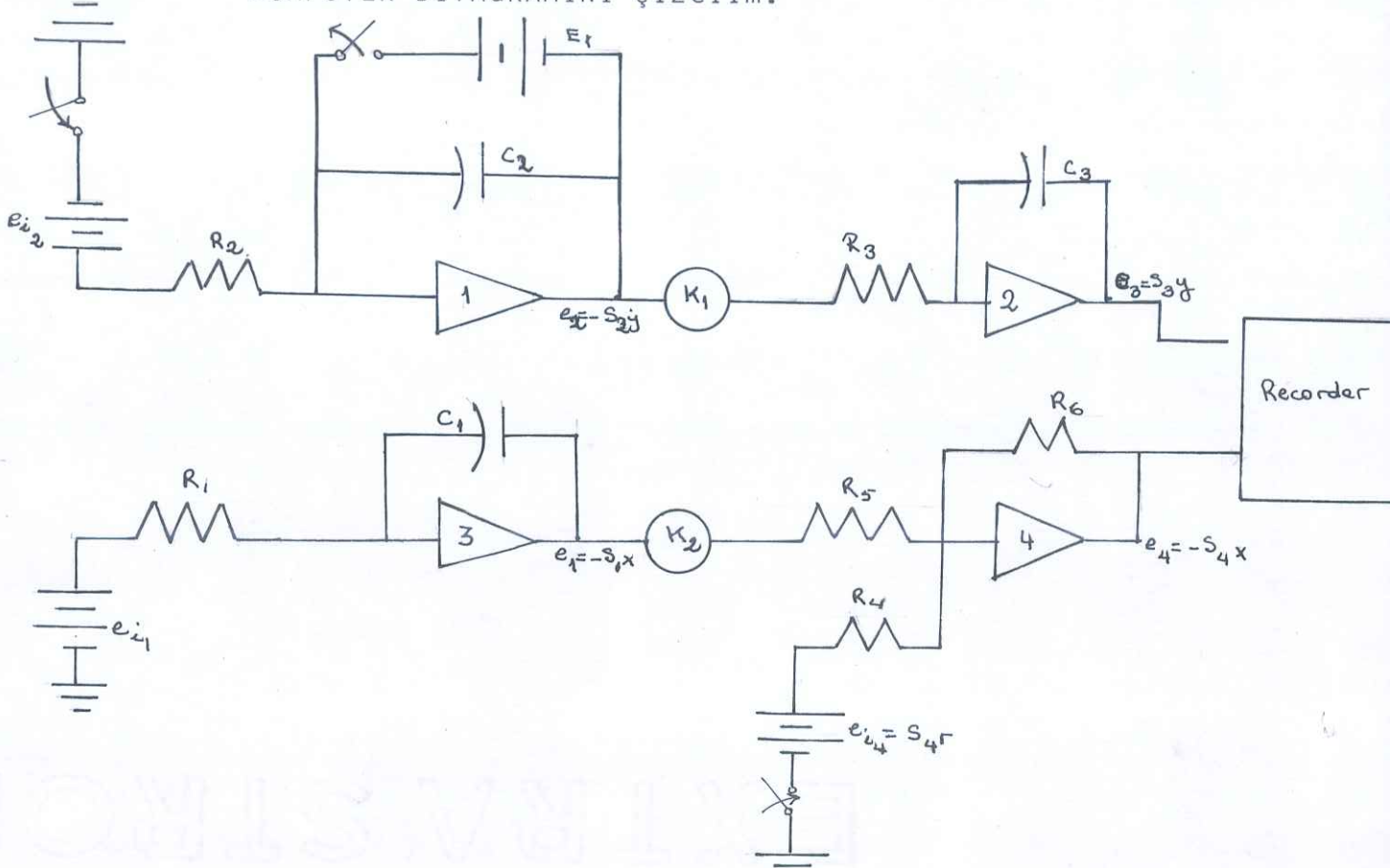
$$e_2 = -S_2 \dot{y} = -\frac{1}{D} [S_2 \ddot{y}] - S_2 \dot{y}_0 \quad (2.13-f)$$

$$e_3 = S_3 y = -\frac{1}{D} [-S_3 \dot{y}] + \cancel{S_3 y_0}^0 \quad (2.13-g)$$

$$e_4 = -S_4 L = -[S_4 r - S_4 x] \quad (2.13-h)$$

(2.13-a) ve (2.13-b) denklemlerinin simulasyonu iki integratörlü bir devre; (2.13-c) ve (2.13-d) denklemlerinin simulasyonu ise bir integratör ve bir toplayıcıdan ibaret olan başka bir devre gerektirecektir. r aralığının

sabit olmasından dolayı, bu aralık sabit bir giriş gerilimi ile simgelenenecektir. Bu özellikleri göz önüne alarak KOMPUTER DİYAGRAMINI çizelim.



Şekil (2-5)

Buradan DEVRE DENKLEMLERİNİ yazabiliriz.

$$e_1 = -\frac{1}{D} \left[\frac{e_{i1}}{R_1 C_1} \right] \quad (2.14-a)$$

$$e_2 = -\frac{1}{D} \left[\frac{e_{i2}}{R_2 C_2} \right] + E_1 \quad (2.14-b)$$

$$e_3 = -\frac{1}{D} \left[\frac{-K_1 s_2 y}{R_3 C_3} \right] \quad (2.14-c)$$

$$e_4 = - \left[e_{i4} \frac{R_6}{R_4} - \frac{K_2 S_1 x R_6}{R_5} \right] \quad (2.14-d)$$

GERİLİM FORMUNDAKİ denklemlerle DEVRE denklemlerini karşılaştırırsak, analogiden sabit giriş gerilimini, başlangıç-şartı gerilimlerini ve eleman değerlerinin büyüklüklerini saptayabiliriz.

$$\frac{e_{i1}}{R_1 C_1} = S_1 \dot{x}_0 \quad (2.15-a)$$

$$S_2 \cdot 9,8 = \frac{e_{i2}}{R_2 C_2} \quad (2.15-b) ; \quad E_1 = -S_2 \dot{y}_0 \quad (2.15-c)$$

$$-\frac{K_1 S_2 \dot{y}}{R_3 C_3} = -S_3 \dot{y} \quad (2.15-d)$$

$$S_4 r = e_{i4} \frac{R_6}{R_4} \quad (2.15-e) ; \quad \frac{-K_2 S_1 x R_6}{R_5} = -S_4 x \quad (2.15-f)$$

gerilim değerlerini hesaplayabilmemiz için ÖLÇÜM ÇARPANLARINI bilmemiz gerekir.

$$S_1 = \frac{100}{x_{\max}} = \frac{100}{1513} = 0,0661 \text{ volt/m} \quad (2.16-a)$$

$$S_2 = \frac{100}{\dot{y}_{\max}} = \frac{100}{303} = 0,33 \text{ volt/(m/sn)} \quad (2.16-b)$$

$$S_3 = \frac{100}{y_{\max}} = \frac{100}{607} = 0,1647 \text{ volt/m} \quad (2.16-c)$$

$$S_4 = \frac{100}{L_{\max}} = \frac{100}{1513} = 0,0661 \text{ volt/m} \quad (2.16-d)$$

$$\dot{x}_0 = 152 \text{ m/sn}$$

$$\dot{x}_0 = 61 \text{ m/sn}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\dot{x}_0}{\dot{y}_0} \quad (2.17)$$

$$r = h \operatorname{tg} \theta = 607 \frac{152}{61} = 1512,5 \text{ m} \quad (2.18)$$

$$R_1 = 10 \Omega$$

$$C_1 = 1 \mu F$$

$$e_{i_1} = 0,0661 (152) \cdot 10 = 100,49 \text{ volt}$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

$$C_2 = 1 \mu F$$

$$0,33 \cdot 9,81 = \frac{e_{i_2}}{10 \cdot 1}$$

$$e_{i_2} = 32,38 \text{ volt.}$$

$$E_1 = -S_2 \dot{y}_0 = -20,13 \text{ volt}$$

$$R_3 = 1,82$$

$$C_3 = 1 \mu F$$

$$\frac{K_1}{R_3 C_3} = \frac{S_3 \dot{y}_0}{S_2 \dot{y}_0} = \frac{0,1647}{0,33} = 0,49$$

$$K_1 = 1,82 (0,48) = 0,908$$

$$R_4 = 0,22$$

$$R_5 = 0,92$$

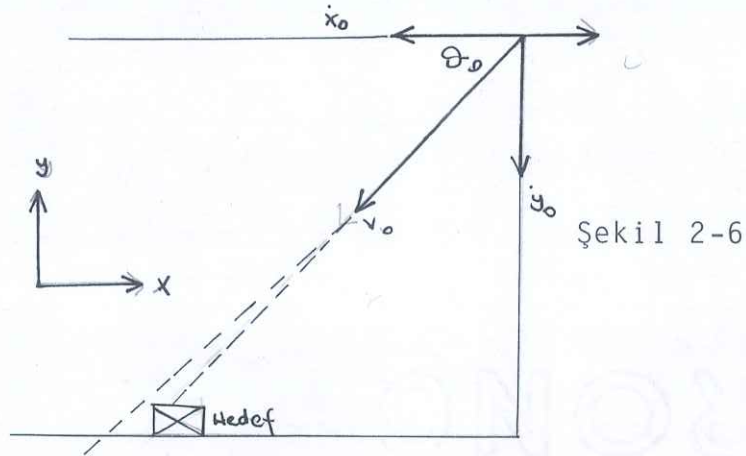
$$R_6 = 1$$

$$e_{i_4} = S_4 r \frac{R_4}{R_6} = 22 \text{ volt}$$

$$K_2 = \frac{0,92 S_4}{R_6 S_1} = \frac{0,0661}{0,0661} 0,92 = 0,92$$

Bu değerler aralığında parametreler değiştirildiğinde sabit giriş gerilimleri, başlangıç şartı gerilimleri ve diğer değerlerle değişecektir, böylece gerilimlerin mümkün olan değişimi ile parametrelerde bunlara uygun olarak değişecektir.

Nümerik çözümdeki esas hız ve esas yer değiştirmeleri hesaplamak için sistemin hareketini inceleyelim.



Uçaktan atılan, bomba, yatayla θ_0 açısı yaparak, hedef üzerine v_0 ilk hızı ile atılıyor.

Bombanın izlediği yola bombanın yörüngesi diyebiliriz. Yörünge hava direncinden çok fazla etkilenir ve bu, hareketin analizini son derece karışık hale koyar. Fakat biz hava direncinin önemli etkisini ihmal edecek ve hareketin boş uzayda meydana geldiğini düşüneceğiz. Bu durumda bombaya etki eden tek kuvvet kendi ağırlığı mg olur. Kuvvet bilindiğinden ivmeyi bulmak için Newton'un ikinci kanununu kullanacağız. Hız ve yer değiştirmeyi

bulmak içinde kinematik prensiplerinden yararlanacağız.

Newton'un ikinci kanunu dik bileşenler şekli ile;

$$\Sigma F_x = ma_x, \quad \Sigma F_y = ma_y \quad (2.19)$$

Problemimizde x eksenini yatay, y eksenini düşey aldığımızı göre,

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = -g \quad (2.19-a)$$

İvmenin yatay bileşeni 0, düşey bileşeni aşağı doğru ve serbet düşen bir cismin ivmesine eşittir. İleriye doğru olan hız, bombanın düşüşünü etkilemiyor.

Sıfır ivme sabit hız ifade ettiğinden hareket sabit hızlı yatay hareket ile sabit ivmeli düşey bir hareketin birleşimi olarak ifade edilebilir.

Şimdi merminin hızını inceleyelim.

Orijindeki hıza ilk hız dediğimize göre, v_0 ilk hızı gösteren vektördür. θ_0 açısı ilk hızın yatayla yaptığı açıdır. İlk hız $v_0 \cos \theta_0$ yatay bileşeni ile $v_0 \sin \theta_0$ düşey bileşenlerine ayrılmıştır.

Yatay a_x ivmesi sıfır olduğundan hızın v_x bileşeni bütün hareket boyunca sabit kalır ve herhangi bir t anında,

$$v_x = v_0 \cos \theta_0 \quad \text{dır} \quad (2.20)$$

Herhangi bir andaki düşey v_y hızı, düşey ivme $a_y = -g$ olduğundan,

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (2.21)$$

Bileşke v hızının herhangi bir andaki şiddeti

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (2.22)$$

olarak hesaplanır.

x -ekseni doğrultusundaki hız sabit olduğundan herhangi bir andaki x -koordinatı

$$x = (v_0 \cos \theta_0) t, \quad (2.23)$$

y -koordinatı

$$y = (v_0 \sin \theta_0) t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilebilir.

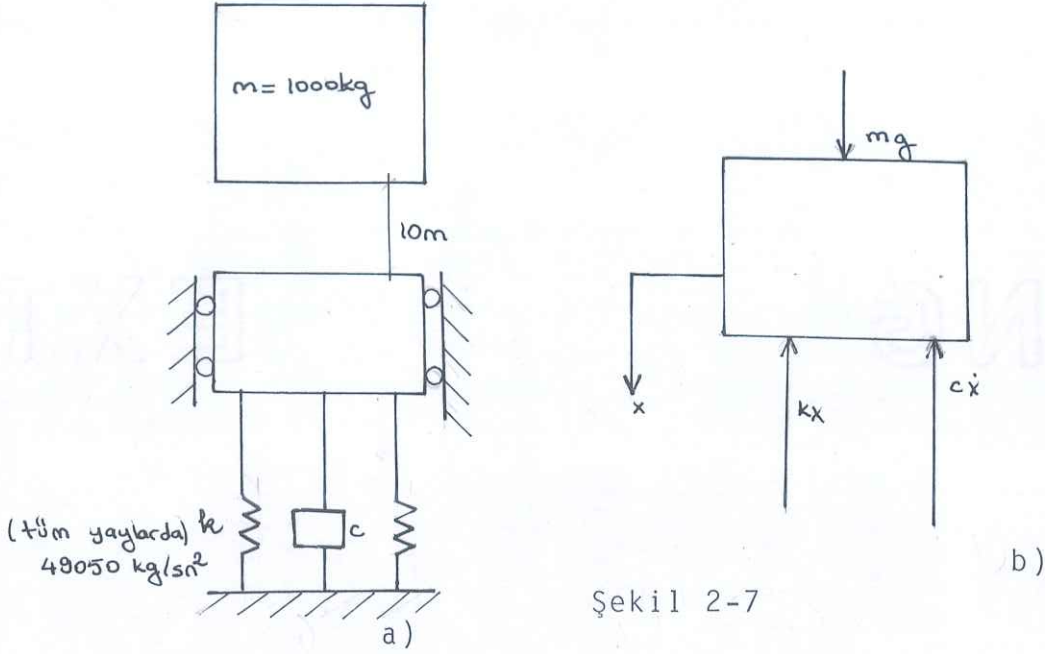
Bu son iki ifade yörünge denklemini t parametresine bağlı olarak verir.

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \quad (2.25)$$

denklemleri ile harekette istenilen bir zaman elde edilebilir.

2.3. 3. PROBLEMİN AÇIKLAMASI

Bu örnekte diferansiyel denklem, bilgisayar devre diyagramında GERİ BESLEME ÜNİTESİ'ni gösterir.



Şekil 2-7

Kütlesi m olan bir cisim h yüksekliğinden bir yay sisteme bağlı ağırlıksız bir tabla üzerine düşürülmektedir. Bu sistem, yan çeperlerinde meydana gelen darbeleri yok etmek için, yaylarla muhafaza edilmiş büyük bir şahmerdanı gösterir. Cisim ile tablanın çarpışmasından sonra sistemde olabilecek titreşimleri önlemek için bir C amortisörü ile sönüm oluşturulur. Cisim, 10 m. yükseklikten düşer. Bu problemde sönüm katsayısı n 'nin maksimum yer değiştirmeye etkisi araştırılır. (Bunun için bilgisayar, kritik sönüm için hazırlanabilir) Eğer ağırlıksız tablanın statik denge durumundan aşağı doğru pozitif yer değiştirmesini ölçersek, çarpışmadan önceki (başlangıçtaki) yay kuvvetini verir.

$$mg - kx - c\dot{x} = m\ddot{x} \quad (2.26)$$

Newton'un ikinci kanunundan ve şekil (2.7-b) dan yukarıdaki denklemi yazabiliriz veya toplam kütlesi m olan diferansiyel denklem:

$$\ddot{x} + \frac{c\dot{x}}{m} + \frac{kx}{m} = g \quad (2.26-a)$$

şeklindedir. Titreşim analizinden $\frac{c}{m} = 2n$ ve $\frac{k}{m} = p^2$ yazılabilir. Böylece;

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2x = g \quad (2.26-b)$$

p söndürmesiz dairesel frekans, n sönüm katsayısı ise,

$$p^2 = \frac{k}{m} = 49,05 \text{ sn}^{-1} \quad (2.27-a)$$

$$p = \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{49050}{1000} = 7,003 \text{ sn}^{-1} \quad (2.27-b)$$

$$n = \frac{c}{2m} = \frac{70736 \text{ kg/sn}}{2 \cdot 1000 \text{ kg}} = 35,368 \text{ sn}^{-1} \quad (2.27-c)$$

olarak hesaplanır.

Genelde diferansiyel denklemlerin simulasyonu, denklemde var olan en yüksek dereceden türevlerle ilgili olabilir veya olmayabilir. En yüksek dereceden türevlerin dahil olduğu denklemlerde, bunlar tam çözümün bir parçasını oluştururlar. Diğer durumlarda ise türevin en yüksek dereceden mertebesi önemli değildir ve bu türevi kullanmak hiç bir yarar sağlamaz. Biz bu örnekte, diğer iki örnekte de olduğu gibi en yüksek mertebeden türevi göz önüne almayarak işlemlerimize başlayacağız.

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2x = g$$

denklemini çözmek için, ($\ddot{x}$ nın analogisi yapmaksızın) sırası ile $\dot{x}$ ve x in denklemlerini yazarız. $\dot{x}$ denklemini yazarken, $\ddot{x}$ değerinde bilinmesi gerekir.

0 halde;

$$\ddot{x} = -2n\dot{x} - p^2x + g$$

hesaplanır.

$$\dot{x} = \frac{1}{D} [\ddot{x}] + x_0 = \frac{1}{D} [-2n\dot{x} - p^2x + g] + \dot{x}_0 \quad (2.28-a)$$

$$x = \frac{1}{D} [\dot{x}] + x_0 \quad (2.28-b)$$

Bu denklemler, sırası ile bir toplama integratörü ve bir integratör gerektiğini göstermektedir.

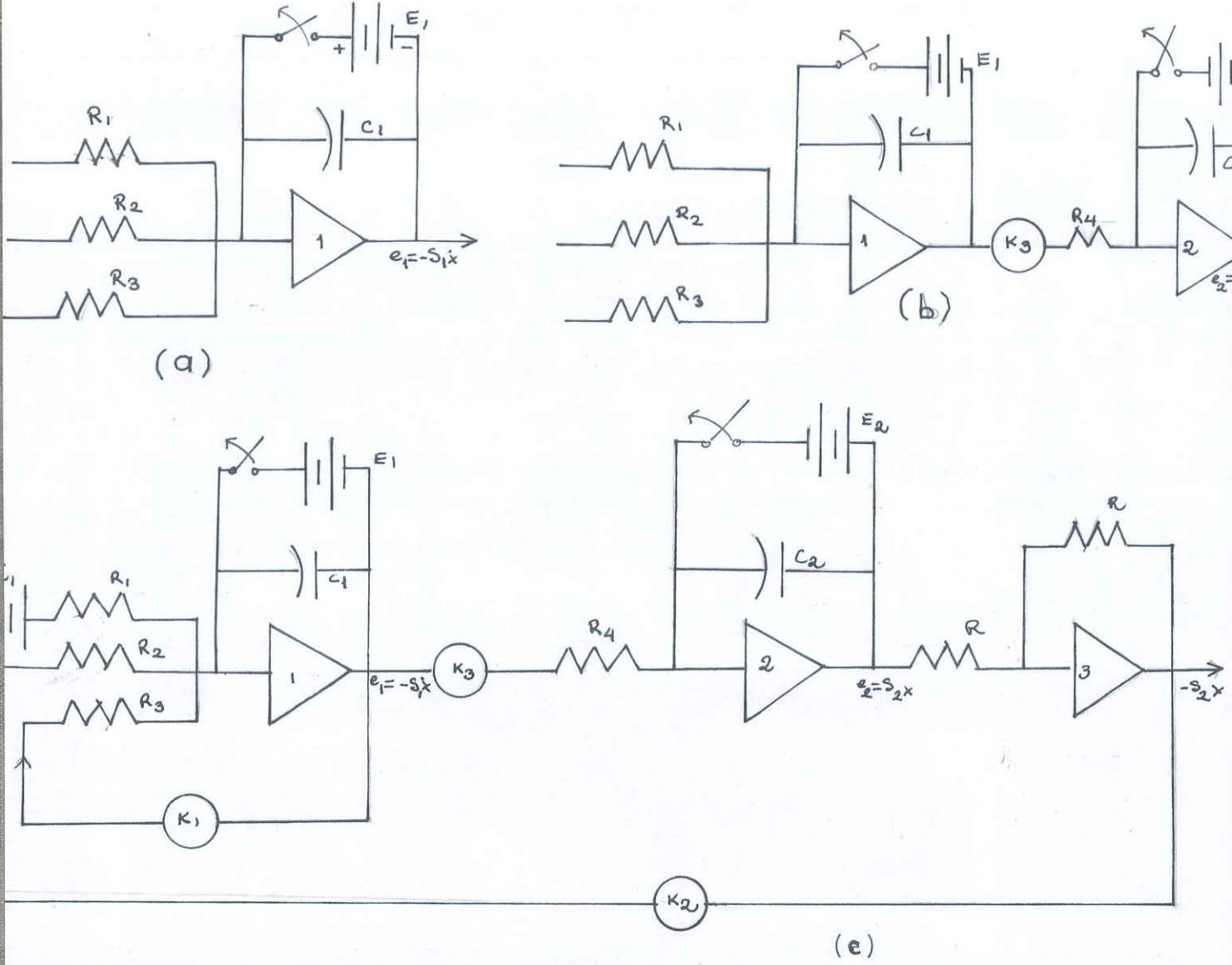
S_1 ve S_2 ölçüm faktörlerini oluşturarak, buradan GERİLİM FORMUN'daki denklemleri yazabiliriz.

$$e_1 = -S_1\dot{x} = -\frac{1}{D} [S_1g - S_12n\dot{x} - S_1p^2x] - S_1\dot{x}_0 \quad (2.28-c)$$

$$e_2 = S_2x = -\frac{1}{D} [-S_2\dot{x}] + S_2x_0 \quad (2.28-d)$$

önceki durumlarda olduğu gibi, integral operatörünün önündeki negatif işaret, amplifikatörün işaret değişimi ile ilgilidir. Parantez içindeki işaretler ise, toplama integratörüne girişler için uygun işaretleri gösterir.

GERİLİM FORMUNDA'ki denklemleri göz önüne alarak, DEVRE DİYAGRAMI'nı çizelim.



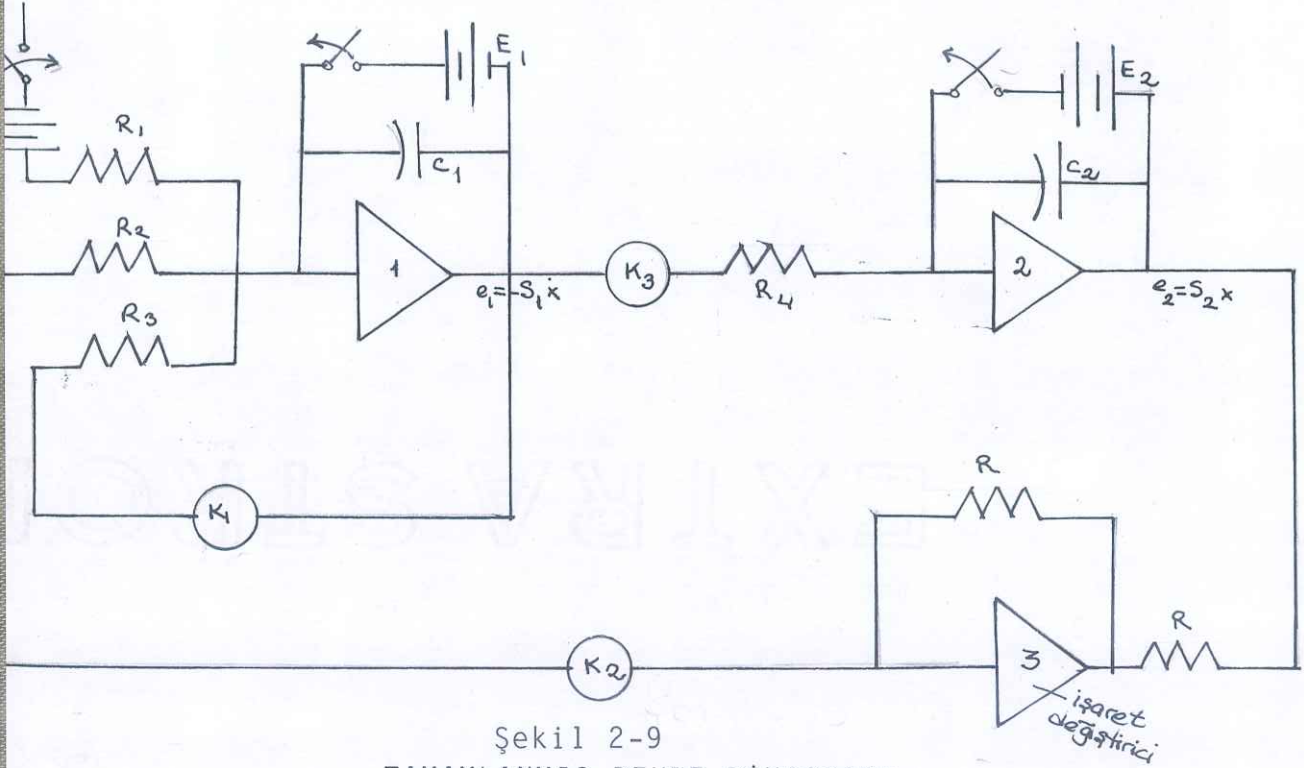
Şekil 2-8

Şekil (2.8-a) üç tane girişi ile belirlenmiş toplama integratörünü gösterir. Şekil (2.8-b) 1 amplifikatörünün çıkışının, bir integratöre bir potansiyometre vasıtası ile bağlanışını gösterir. Şekil (2.8-c) ise 1 amplifikatörüne ilave edilmiş olan girişleri gösterir. 1 amplifikatörüne girişlerin işareti, GERİLİM FORMUNDA yazılmış denklemdeki parantez içindeki işarete bağlıdır. Bu yüzden, $-S_1 p^2 x$ terimini devre diyagramında gösterirken, negatif işaret elde etmek için, bir işaret değiştirici (3 amplifikatörü) ilave edilir. Çünkü x değişkeni devre diyagramında $e_2 = S_2 x$ olarak gösteril-

miştir. Sabit terim, pozitif bir sabit giriş gerilimi ile simgelenmiştir. (e_{i1} gerilimi)

Bu yazdıklarımızdan şu sonucu çıkarabiliriz: İkinci derece bir diferansiyel denklemin çözümü, eğer bilgisayar 2. türevleri oluşturmazsa, sadece üç amplifikatör ile yapılabilir. $\ddot{x}$ 'ı komputer çözümünden elimine etmemin başka bir avantajı vardır ki, bu da $\ddot{x}$ ile ilgili ölçüm faktörünün hesabının gerekmediğidir.

Önceki şekildeki devreleri birleştirerek 3. problem için tamamlanmış devre diyagramını çizelim.



Şekil 2-9
TAMAMLANMIŞ DEVRE DİYAGRAMI

Şimdi devre diyagramı için DEVRE DENKLEMLERİ'ni yazalım:

$$e_1 = -S_1 \ddot{x} = -\frac{1}{D} \left[\frac{e_{i1}}{R_1 C_1} - \frac{K_1 S_1 \dot{x}}{R_2 C_1} - \frac{K_2 S_2 x}{R_3 C_1} \right] + E_1 \quad (2.29-a)$$

$$e_2 = S_2 \dot{x} = - \frac{1}{D} \left[- \frac{K_3 S_1 \dot{x}}{R_4 C_2} \right] + E_2 \quad (2.29-b)$$

Bu denklemlerle GERİLİM FORMUNDAKİ denklemlerin analogisinden aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$S_1 g = \frac{e_{i1}}{R_1 C_1} \quad (2.29-c) , \quad -S_1 2n \dot{x} = - \frac{K_1 S_1 \dot{x}}{R_2 C_1} \quad (2.29-d)$$

$$-S_1 p^2 x = - \frac{K_2 S_2 x}{R_3 C_1} \quad (2.29-e) , \quad -S_1 \dot{x}_0 = E_1 \quad (2.29-f)$$

$$-S_2 \dot{x} = - \frac{K_3 S_1 \dot{x}}{R_4 C_2} \quad (2.29-g) , \quad S_2 x_0 = E_2 = 0 \quad (2.29-h)$$

ÖLÇÜM FAKTÖRLERİ:

$$S_1 = \frac{100}{\dot{x}_{\max}} = \frac{100}{14} = 7,1429 \text{ volt/(m/sn)} \quad (2.30-a)$$

$$S_2 = \frac{100}{x_{\max}} = \frac{100}{0,998} = 100,102 \text{ völt/m} \quad (2.30-b)$$

$n=35,368 \text{ sn}^{-1}$ olduğu durumunu göz önüne alarak, buna bağlı potansiyometre katsayısını ve diğer keyfi değerleri seçerek problemin simulasyon değerlerini hesaplayabiliriz.

$$e_{i1} = R_1 C_1 S_1 g \quad (2.31-a)$$

denklemden R_1 , C_1 direnç ve kapasite değerlerini giriş gerilimleri için alt ve üst gerilim değerleri göz önüne alarak hesaplayabiliriz. $S_1 g$ değeri sıfırdan büyük olduğundan $R_1=10 \text{ ohm}$ alıyoruz. (Eğer bu değer sıfırdan küçük olsa idi

$R_1=1$ ohm alacaktık). Giriş gerilimlerinin değerleri 20 volt ile 100 volt arasında olması gerektiğinden, bu kısıtlama göz önüne alınarak, C_1 değeri için $0,1 \mu F$, giriş gerilimi için 70 volt buluruz.

$$-S_1 2n\dot{x} = -\frac{K_1 S_1 \dot{x}}{R_2 C_1} \quad (2.31-b)$$

eşitliğinden,

$$K_1 = \frac{-S_1 2n\dot{x}}{-S_1 \dot{x}} R_2 C_1 \quad (2.31-c)$$

bulunur.

K_1 potansiyometre değerinin 0.9 ile 1 arasında olacağı göz önüne alınarak $R_2 = 0,14 \Omega$ ve

$$K_1 = 0,99$$

bulunur.

$$-S_1 p^2 x = -\frac{K_2 S_2 x}{R_3 C_1} \quad (2.31-d)$$

eşitliğinde K_2 yi çekersek;

$$K_2 = \frac{S_1 p^2 x}{S_2 x} R_3 C_1 = 0,903 \quad (2.31-e)$$

bulunur. Yine K_3 ün alabileceği limit değerleri göz önüne alınarak,

$$R_4 = 0,66 \Omega$$

$$K_3 = 0,925$$

hesaplanır.

Başlangıç değerleri:

$$E_1 = -S_1 \dot{x}_0 \quad \text{ve} \quad E_2 = S_2 x_0$$

denklemlerinden -100 ve 0 olarak bulunur.

$$\text{Şimdi } \ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2 x = g \quad (2.32)$$

diferansiyel denkleminin genel çözümünü bulalım.

Bu diferansiyel denklem ZORLANMIŞ SÖNÜMLÜ TİTREŞİM gösterir.

Denklemin homogen çözümü şöyle bulunur.

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + p^2 x = 0, \quad \frac{c}{m} = 2n, \quad \frac{k}{m} = p^2 \quad (2.32-a)$$

$$\alpha^2 + 2n\alpha + p^2 = 0 \quad (2.32-b)$$

$$\alpha_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - p^2} \quad (2.32-c)$$

$$s = (n^2 - p^2)^{1/2} \quad (2.32-d)$$

$$\alpha_{1,2} = -n \pm s \quad (2.32-e)$$

şeklinde ifade edilirse, homogen çözüm

$$x_h = e^{-nt} [Ae^{st} + Be^{-st}] \quad (2.33)$$

olarak hesaplanır.

$$x_g = x_h + x_o \quad (2.34)$$

Sistem üzerine etkiyen dış zorlayıcı kuvvet olan f_o , g değerine eşittir. (f_o harmonik kuvvetin genliği) Bu durumda özel çözüm f_o/w^2 dır.

$$x_g = e^{-nt} [Ae^{st} + Be^{-st}] + \frac{fo}{w^2} \quad (2.35-a)$$

$$x_g = e^{-nt} [Ae^{st} + Be^{-st}] + \frac{g}{w^2} \quad (2.35-b)$$

İlk başlangıç şartı $t=0$ için $x=0$ dan

$$A+B + \frac{g}{w^2} = 0 \quad (2.36-a)$$

$$A = -(B + \frac{g}{w^2}) \quad (2.36-b)$$

olarak hesaplanır.

$$\dot{x} = -ne^{-nt} [Ae^{st} + Be^{-st}] + e^{-nt} [Ase^{st} - Bse^{-st}] \quad (2.37-a)$$

ikinci başlangıç şartı $t=0$ için $\dot{x}=v_0$ dan

$$v_0 = -n(A-B) + s(A-B) \quad (2.37-b)$$

olarak bulunur.

$$v_0 = -nA - nB + sA - sB \quad (2.37-c)$$

$$v_0 = -(n-s)A - (n+s)B \quad (2.37-d)$$

$$v_0 = +(n-s)(B + \frac{g}{w^2}) - (n+s)B$$

$$v_0 = (n-s)B + (n-s)(\frac{g}{w^2}) - (n+s)B \quad (2.37-e)$$

$$v_0 = (n-s-n-s)B + (n-s)(\frac{g}{w^2}) \quad (2.37-f)$$

$$B = -\frac{1}{2s} \left(v_0 - (n-s)\frac{g}{w^2} \right) \quad (2.37-g)$$

$$A = - \left[-\frac{v_0}{2s} + \frac{(n-s)}{2s} \frac{g}{w^2} + \frac{g}{w^2} \right] \quad (2.38-a)$$

$$A = - \left[-\frac{v_0}{2s} + \left(\frac{n-s+2s}{2s} \right) \frac{g}{w^2} \right] \quad (2.38-c)$$

$$A = \frac{1}{2s} \left[v_0 - (n+s) \frac{g}{w^2} \right] \quad (2.38-d)$$

A ve B sabitlerini belirledikten sonra, bulduğumuz bu değerleri çözüm denkleminde yerleştirecek olursak hareket denklemini elde ederiz.

$$x_g = e^{-nt}/2s \left\{ \left[v_0 - (n+s) \frac{g}{w^2} \right] e^{st} - \left[v_0 - (n-s) \frac{g}{w^2} \right] e^{-st} \right\} + \frac{g}{w^2} \quad (2.39)$$

$$t \rightarrow \infty \text{ için } x(t) = \frac{g}{w^2} \quad (2.40)$$

$x(t)$ fonksiyonunun sonluda her maksimumu olmaması gerekir.

$$\dot{x}(t) = -e^{-nt}/2s \left\{ (n-s) \left[v_0 - (n+s) \frac{g}{w^2} \right] e^{st} - (n+s) \left[v_0 - (n-s) \frac{g}{w^2} \right] e^{-st} \right\} = 0 \quad (2.41)$$

bağıntısından $x(t)$ yi maksimum yapan t_m değeri

$$e^{2st} = \frac{(n+s) \left[v_0 - (n-s) \frac{g}{w^2} \right]}{(n-s) \left[v_0 - (n+s) \frac{g}{w^2} \right]} \quad (2.42)$$

olarak hesaplanır.

$t \rightarrow \infty$ için bu ifadenin paydası sıfırdır.

$n \neq s$ olduğundan;

$$v_0 - (n+s) \frac{g}{w^2} = 0 \quad (2.43-a)$$

dır.

$$v_0 = (n+s) \frac{g}{w^2} \quad (2.43-b)$$

$$\delta_{st} = \frac{g}{w^2} \quad (\text{statik yer de\u0131i\u015ftirme}) \quad (2.44-a)$$

dersek;

$$v_0 = (n+s) \delta_{st} \quad (2.44-b)$$

Bu ifadeyi genel \u00e7\u00f6z\u00fcmde yerle\u015ftirirsek;

$$x_g = e^{-nt} / 2s \left\{ \left[(n+s) \frac{g}{w^2} - (n+s) \frac{g}{w^2} \right] e^{st} - \right. \quad (2.45-a)$$

$$\left. - \left[(n+s) \frac{g}{w^2} - (n-s) \frac{g}{w^2} \right] e^{-st} \right\} + \frac{g}{w^2}$$

$$x_g = e^{-nt} / 2s \left\{ - (n+s-n+s) \frac{g}{w^2} e^{-st} \right\} + \frac{g}{w^2} \quad (2.45-b)$$

$$x(t) = \frac{g}{w^2} (1 - e^{-(n+s)t}) \quad (2.45-c)$$

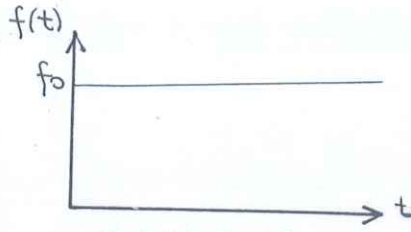
olarak hareket denklemi elde edilir.

$$\dot{x}(t) = +(n+s) \frac{g}{w^2} e^{-(n+s)t} \quad (2.46)$$

\u015feklinde de hız fonksiyonunu ifade edebiliriz.

$t \rightarrow \infty$ i\u00e7in yer de\u0131i\u015ftirmenin maksimum de\u011ferine ula\u015ftığını biliyoruz. \u00c7\u00fcnk\u00fc sistem zorlanmış s\u00f6n\u00fclm\u00fc titre\u015fim yapmaktadır. Maksimum yer de\u0131i\u015ftirmeyi hesaplamamız i\u00e7in STATİK YER DE\u011eİ\u015FTİRME de\u011ferini bulmamız gerekir. Statik yer de\u0131i\u015ftirmeyi f_0/w^2 olarak tanımlarız.

Burada f_0 sisteme etkiyen sabit kuvvettir.



Şekil 2-10

$(0, \infty)$ aralığında sabit kuvvet

Bizim problemimizde ise çarpışmadan sonra f_0 kuvveti g dir. 0 halde statik yer değiştirme,

$$\delta_{st} = \frac{g}{w^2} \quad (2.47-a)$$

olarak hesaplanır.

Maksimum yer değiştirme x' 'i belirlemek için, dinamik yer değiştirmenin, statik yer değiştirmeden 5 defa büyük olduğunu düşünelim.

$$\delta_{din} = 5 \delta_{st} = 5 \frac{g}{w^2} \quad (2.47-b)$$

Buradan,

$$\dot{x}_{max} = 5 \frac{g}{w^2} \quad (2.47-c)$$

olarak hesaplanır.

$\dot{x}$ nın maksimum değeri, lineer momentumun değişimi göz önüne alınarak, aynı zamanda hızın başlangıç değeri $\dot{x}_0$ olacaktır. Esnek çarpışma olacağından tabla ile cisim derhal $\dot{x}_0$ ortak hızına ulaşırlar. Cismin çarpışmadan önceki hızına v_1 diyelim.

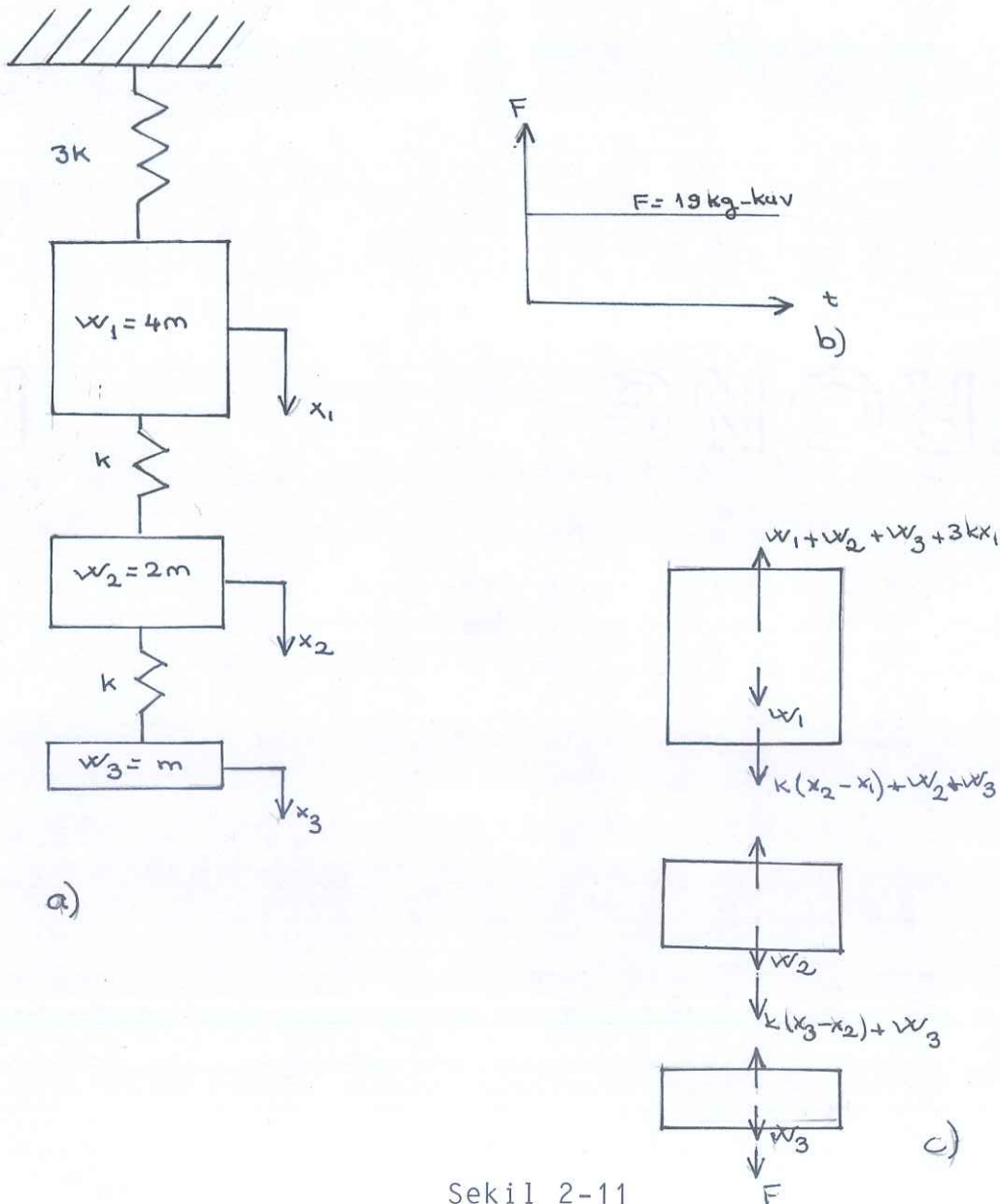
$$v_1 = (2gh)^{1/2} \quad (2.48-a)$$

$$m_1 v_1 = m_1 \dot{x}_0 \quad (2.48-b)$$

$$v_1 = \dot{x}_0 = 14 \text{ m/sn} \quad \text{şeklinde yazılır.} \quad (2.48-c)$$

2.4 4. PROBLEMİN AÇIKLAMASI:

Üç serbestlik derecesi olan sistem, şekilde görüldüğü gibi F kuvvetinin tesiri altındadır, x_1 , x_2 ve x_3 olarak gösterilen genelleştirilmiş koordinatlar, sistemi belirlemeye yararlar. x_1 , x_2 ve x_3 genelleştirilmiş koordinatlarını, w_1 , w_2 ve w_3 ün statik denge durumundan aşağı doğru yer değiştirmelerini pozitif olarak belirleyebiliriz m_1 , m_2 ve m_3 kütlelerine Newton'un ikinci kanununu uygularsak hareketin diferansiyel denklemlerini elde ederiz.



Şekil 2-11

$$m_1 \ddot{x}_1 = W_1 + k(x_2 - x_1) + W_2 + W_3 - W_1 - W_2 - W_3 - 3kx_1 \quad (2.49-a)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = W_2 + k(x_3 - x_2) + W_3 - k(x_2 - x_1) - W_2 - W_3 \quad (2.49-b)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = F + W_3 - k(x_3 - x_2) - W_3 \quad (2.49-c)$$

$$\ddot{x}_1 = (kx_2 - kx_1 - 3kx_1) / m_1 \quad (2.49-d)$$

$$\ddot{x}_2 = (kx_3 - kx_2 - kx_2 + kx_1) / m_2 \quad (2.49-e)$$

$$\ddot{x}_3 = (F - kx_3 + kx_2) / m_3 \quad (2.49-f)$$

Buradan;

$$\ddot{x}_1 = - \frac{4k}{m_1} x_1 + \frac{k}{m_1} x_2 \quad (2.49-g)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{k}{m_2} x_1 - \frac{2k}{m_2} x_2 + \frac{k}{m_2} x_3 \quad (2.49-h)$$

$$\ddot{x}_3 = \frac{F}{m_3} + \frac{k}{m_3} x_2 - \frac{k}{m_3} x_3 \quad (2.49-i)$$

olarak sistemin hareket denklemlerini oluşturabiliriz.

$$D^{n-1}(x) = \frac{1}{D} [D^n x] + D^{n-1} x_0 \quad (2.50-a)$$

formülü ile sistemin OPERATÖR NOTASYONLARINI elde ederiz.

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{D} [\ddot{x}_1] + \dot{x}_1(0) \quad (2.40-b)$$

$$x_1 = \frac{1}{D} [\dot{x}_1] + x_1(0) \quad (2.50-c)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{D} [\ddot{x}_2] + \dot{x}_2(0) \quad (2.50-d)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{D} [\ddot{x}_2] + \dot{x}_2(0) \quad (2.50-e)$$

$$\ddot{x}_3 = \frac{1}{D} [\ddot{x}_3] + \dot{x}_3(0) \quad (2.50-f)$$

$$\dot{x}_3 = \frac{1}{D} [\dot{x}_3] + x_3(0) \quad (2.50-g)$$

yukarıdaki denklemler gerekli bilgisayar işlemlerini ve 6 integratörün gerektiğini gösterir.

Ölçüm çarpanlarına $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ diyecek olursak aşağıdaki GERİLİM FORMUNDAKİ denklemleri elde ederiz.

$$e_1 = -S_1 \ddot{x}_1 = -\frac{1}{D} [S_1 \ddot{x}_1] - S_1 \dot{x}_1(0) \quad (2.51-a)$$

$$e_1 = -S_1 \ddot{x}_1 = -\frac{1}{D} \left[-S_1 \frac{4k}{m_1} x_1 + S_1 \frac{k}{m} x_2 \right] - S_1 \dot{x}_1(0)$$

$$e_2 = S_2 \dot{x}_1 = -\frac{1}{D} [-S_2 \dot{x}_1] + S_2 x_1(0) \quad (2.51-b)$$

$$e_3 = -S_3 \ddot{x}_2 = -\frac{1}{D} [S_3 \ddot{x}_2] - S_3 \dot{x}_2(0) \quad (2.51-c)$$

$$e_3 = -S_3 \ddot{x}_2 = -\frac{1}{D} \left[S_3 \frac{k}{m_2} x_1 - S_3 \frac{2k}{m_2} x_2 + S_3 \frac{k}{m_2} x_3 \right] - S_3 \dot{x}_2(0)$$

$$e_4 = S_4 \dot{x}_2 = -\frac{1}{D} [-S_4 \dot{x}_2] + S_4 x_2(0) \quad (2.51-d)$$

$$e_5 = -S_5 \ddot{x}_3 = -\frac{1}{D} [S_5 \ddot{x}_3] - S_5 \dot{x}_3(0) \quad (2.51-e)$$

$$e_5 = -S_5 \ddot{x}_3 = -\frac{1}{D} \left[S_5 \frac{F}{m_3} + S_5 \frac{k}{m_3} x_2 - S_5 \frac{k}{m_3} x_3 \right] - S_5 \dot{x}_3(0)$$

$$e_6 = S_6 x_3 = - \frac{1}{D} [-S_6 \dot{x}_3] + S_6 x_3(0) \quad (2.51-f)$$

yukardaki gerilim formundaki denklemlerden DEVRE DİYAGRAMINI çizebiliriz.

Bu devre diyagramı, hem zaman diferansiyel denklemde, denklem sayısı üç olduğunda işaret değiştiricileri göz önüne almadığımız zaman, bilgisayar ikinci dereceden türevleri içermezse, 6 tane amplifikatör ile çözüm yapabileceğimizi gösteren bir örnektir.

Şimdi devre diyagramı için DEVRE DENKLEMLERİ'ni yazalım.

$$e_1 = -S_1 \dot{x}_1 = - \frac{1}{D} [\frac{-S_2 K_1 x_1}{R_1 C_1} + \frac{S_4 K_2 x_2}{R_2 C_1}] + E_1 \quad (2.52-a)$$

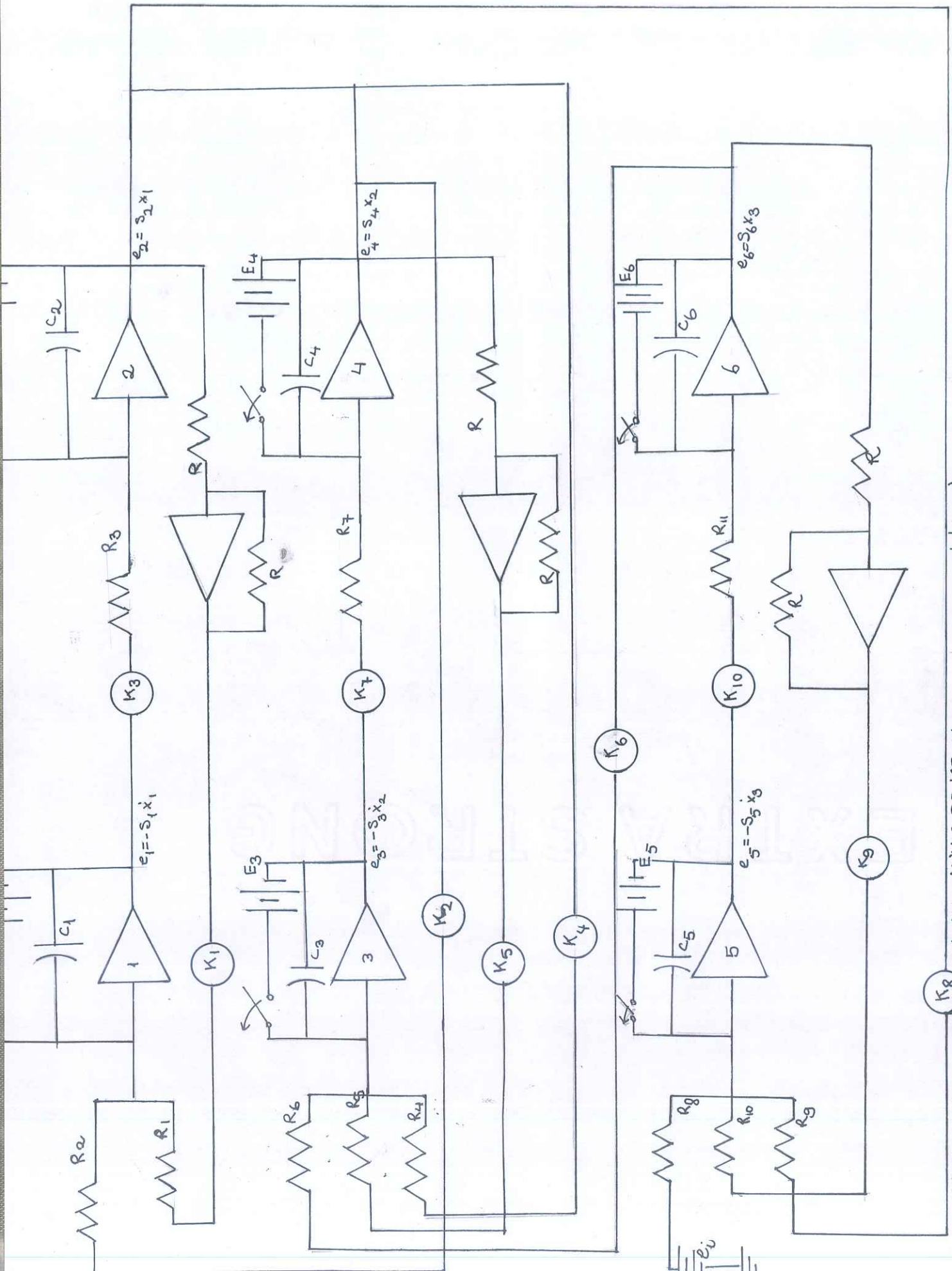
$$e_2 = S_2 x_1 = - \frac{1}{D} [\frac{-S_1 K_3 \dot{x}_1}{R_3 C_2}] + E_2 \quad (2.52-b)$$

$$e_3 = -S_3 \dot{x}_2 = - \frac{1}{D} [\frac{S_2 K_4 x_1}{R_4 C_3} + \frac{S_4 K_5 x_2}{R_5 C_3} + \frac{S_6 K_6 x_3}{R_6 C_3}] + E_3 \quad (2.52-c)$$

$$e_4 = S_4 x_2 = - \frac{1}{D} [\frac{-S_3 K_7 \dot{x}_2}{R_7 C_4}] + E_4 \quad (2.52-d)$$

$$e_5 = -S_5 \dot{x}_3 = - \frac{1}{D} [\frac{e_{i5}}{R_8 C_5} + \frac{S_4 K_8 x_2}{R_9 C_5} + \frac{S_6 K_9 x_3}{R_{10} C_5}] + E_5 \quad (2.52-e)$$

$$e_6 = S_6 x_3 = \frac{1}{D} [\frac{-S_5 K_{10} \dot{x}_3}{R_{11} C_6}] + E_6 \quad (2.52-f)$$



Gerilim formundaki denklemlerle, devre denklemlerinin analogisinden aşağıdaki değerleri hesaplayabiliriz.

Birinci denklemlerden;

$$-S_1 \frac{4k}{m_1} x_1 = -S_2 \frac{K_1 x_1}{R_1 C_1} \quad (2.53-a)$$

$$K_1 = (GAT1(1) / GE(2)) R_1 C_1$$

potansiyometre değeri ile

$$S_1 \frac{k}{m_1} x_2 = \frac{S_4 K_2 x_2}{R_2 C_1} \quad (2.53-c)$$

$$K_2 = (GAT2(1) / GE(4)) R_2 C_1 \quad (2.53-d/$$

potansiyometre değeri ve (2.53-e7

$$E_1 = -S_1(\dot{x}_1) = 0 \quad (2.53-f)$$

başlangıç gerilimi değeri hesaplanabilir.

ikinci denklemlerden;

$$-S_2 \dot{x}_1 = -\frac{S_1 K_3 \dot{x}_1}{R_3 C_2} \quad (2.54-a)$$

$$K_3 = (S(2) / S(1)) R_3 C_2 \quad (2.54-b)$$

potansiyometre değeri ve $E_2=0$ başlangıç değeri hesaplanır.

Üçüncü denklemlerden;

$$S_3 \frac{k}{m_2} x_1 = \frac{S_2 K_4 x_1}{R_4 C_3} \quad (2.55-a)$$

$$K_4 = (GAT2(1) / GE(2)) R_4 C_3 \quad (2.55-b)$$

potansiyometre değeri ile

$$-S_3 \frac{2k}{m_2} x_2 = \frac{S_4 K_5 x_2}{R_5 C_3} \quad (2.55-c)$$

$$K_5 = (GAT2(2) / GE(4)) R_5 C_3 \quad (2.55-d)$$

potansiyometre değeri ve

$$S_3 \frac{k}{m_2} x_3 = \frac{S_6 K_6 x_3}{R_6 C_3} \quad (2.55-e)$$

$$K_6 = (GAT3(2) / GE(6)) R_6 C_3 \quad (2.55-f)$$

potansiyometre değeri ve

$$E_3 = -S_3 (\dot{x}_2)_0 = 0 \quad (2.55-g)$$

başlangıç değeri hesaplanır.

Dördüncü denklemlerden;

$$-S_4 \dot{x}_2 = \frac{-S_3 K_7 \dot{x}_2}{R_7 C_4} \quad (2.56-a)$$

$$K_7 = (S(4) / S(3)) R_7 C_4 \quad (2.56-b)$$

potansiyometre değeri ile

$$E_4 = S_4 (x_2)_0 = 0 \quad (2.56-c)$$

başlangıç gerilimi değeri hesaplanabilir.

Beşinci denklemlerden;

$$S_5 \frac{F}{m_3} = \frac{e_{i5}}{R_8 C_5} \quad (2.57-a)$$

$$e_{i5} = (GAT4(3)) R_8 C_5 \quad (2.57-b)$$

giriş gerilimi değeri ile

$$S_5 \frac{k}{m_3} x_2 = \frac{S_4 K_8 x_2}{R_9 C_5} \quad (2.57-c)$$

$$K_8 = (GAT2(3) / GE(4)) R_9 C_5 \quad (2.57-d)$$

potansiyometre katsayısı değeri ve

$$-S_5 \frac{k}{m_3} x_3 = - \frac{S_6 K_9 x_3}{R_{10} C_5} \quad (2.57-e)$$

$$K_9 = (GAT3(3) / GE(6)) R_{10} C_5 \quad (2.57-f)$$

potansiyometre katsayısı değeri ve

$$E_5 = - S_5 (x_3)_0 = 0 \quad (2.57-g)$$

başlangıç gerilimi değeri hesaplanır.

Altıncı denklemlerden;

$$-S_6 \dot{x}_3 = - \frac{S_5 K_{10} \dot{x}_3}{R_{11} C_6} \quad (2.58-a)$$

$$K_{10} = (S(6) / S(5)) R_{11} C_6 \quad (2.58-b)$$

potansiyometre katsayısı değeri ile

$$E_6 = S_6 (x_3)_0 \quad (2.58-c)$$

başlangıç gerilimi değeri hesaplanır.

Sistemdeki maksimum yer değiştirme ve maksimum hız değerlerini hesaplamak için, statik sapmaları ve sistemi parçaladığımız zaman ayrı ayrı tabii frekansları bulmamaz gerekir.

Uygulanan F kuvvetine göre statik yer değiştirmeler

$$\Delta_1 = \frac{F}{k_1} = \frac{F}{3k} = \frac{19}{150} = 0,1266 \text{ m} \quad (2.59)$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \frac{F}{k_2} = \Delta_1 + \frac{F}{k} = 0,126 + \frac{19}{50} = 0,506 \text{ m} \quad (2.60)$$

$$\Delta_3 = \Delta_2 + \frac{F}{k_3} = \Delta_2 + \frac{F}{k} = 0,506 + \frac{19}{50} = 0,886 \text{ m} \quad (2.61)$$

olarak hesaplanır.

Bir F kuvvetinin tesiri altında kalan tek bir yay-kütle sisteminin maksimum yer değiştirmesini, statik yer değiştirme olan F/k nın iki katına eşit olduğunu kabul edelim.

Buradan,

$$(x_1)_{\max} = 2 \Delta_1 = 0,253 \text{ m} \quad (2.62)$$

$$(x_2)_{\max} = 2 \Delta_2 = 1,013 \text{ m} \quad (2.63)$$

$$(x_3)_{\max} = 2 \Delta_3 = 1,773 \text{ m} \quad (2.64)$$

bulunur.

Üç serbestlik derecesi olan sistemin tabii frekansı ayrı ayrı üç sistemin tabii frekansına eşittir. Sistemi par-

çaladığımız zaman ayrı ayrı tabii frekanslar,

$$\ddot{x}_1 + \frac{4k}{m_1} x_1 = 0 \quad (2.65)$$

$$w_1 = \sqrt{\frac{4k}{m_1}} = \sqrt{\frac{4k}{4m}} = 5,77 \quad (2.66)$$

$$\ddot{x}_2 + \frac{2k}{m_2} x_2 = 0 \quad (2.67)$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{2k}{m_2}} = \sqrt{\frac{2k}{2m}} = 5,77 \quad (2.68)$$

$$\ddot{x}_3 + \frac{k}{m_3} x_3 = 0 \quad (2.69)$$

$$w_3 = \sqrt{\frac{k}{m_3}} = \sqrt{\frac{k}{m}} = 5,77 \quad (2.70)$$

olarak hesaplanır.

Buradan, maksimum hızlar

$$(\dot{x}_1)_{\max} = (x_1)_{\max} w_1 = 1,462 \text{ m/sn} \quad (2.71)$$

$$(\dot{x}_2)_{\max} = (x_2)_{\max} w_2 = 5,850 \text{ m/sn} \quad (2.72)$$

$$(\dot{x}_3)_{\max} = (x_3)_{\max} w_3 = 10,238 \text{ m/sn} \quad (2.73)$$

değerlerini alırlar.

Bu değerler bilindikten sonra ölçüm çarpanları;

$$S_1 = \frac{100}{(\dot{x}_1)_{\max}} = \frac{100}{1,454} = 68,370 \text{ volt/(m/sn)} \quad (2.74)$$

$$S_2 = \frac{100}{(\dot{x}_1)_{\max}} = \frac{100}{0,252} = 394,736 \text{ volt/m} \quad (2.75)$$

$$S_3 = \frac{100}{(\dot{x}_2)_{\max}} = \frac{100}{5,839} = 17,092 \text{ volt/(m/sn)} \quad (2.76)$$

$$S_4 = \frac{100}{(\dot{x}_2)_{\max}} = \frac{100}{1,012} = 98,684 \text{ volt/m} \quad (2.77)$$

$$S_5 = \frac{100}{(\dot{x}_3)_{\max}} = \frac{100}{10,224} = 9,767 \text{ volt/(m/sn)} \quad (2.78)$$

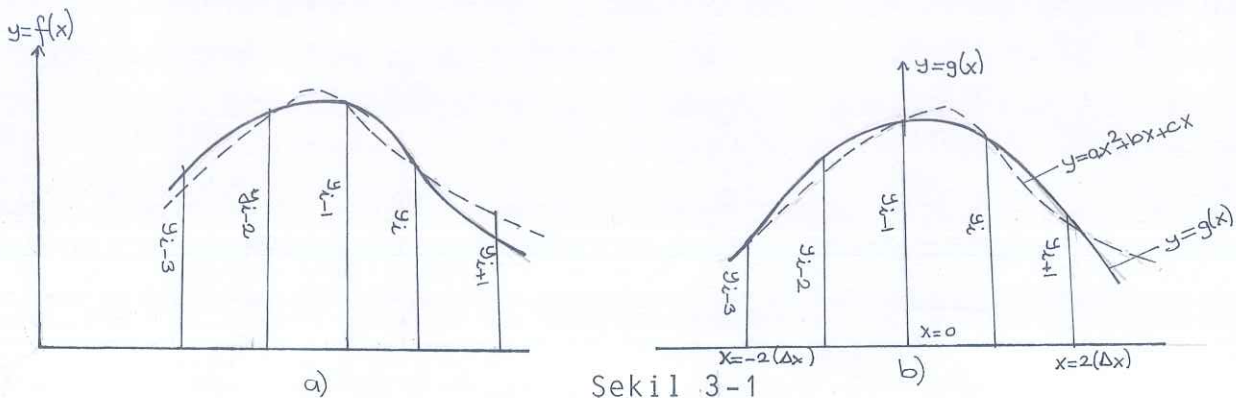
$$S_6 = \frac{100}{(\dot{x}_3)_{\max}} = \frac{100}{1,772} = 56,391 \text{ volt/m} \quad (2.79)$$

3. ADİ DİFERANSİYEL DENKLEMLER ŞEKLİNDE VERİLEN PROBLEMLERİN NUMERİK ÇÖZÜMLERİ:

3.1. $y' = f(x,y)$ ŞEKLİNDEKİ DİFERANSİYEL DENKLEMİN ÇÖZÜMÜ İÇİN MİLNE YÖNTEMİ:

Bir diferansiyel denklemde adım adım numerik integrasyon sonucunda bulunacak çözüm gerçek çözümden çok farklı olabilir. eğer çözüm diğerlerine göre daha fazla sayıda adım ile elde edilebiliyorsa, her adımdaki hatanın daha küçük olacağı açıktır. Euler yöntemi kullanılırsa her adımdaki hata $(\Delta x)^2$ derecesinde olur. Değiştirilmiş Euler yönteminde ise her adımdaki hata $(\Delta x)^3$ derecesindedir. Oysa MİLNE yönteminde her adımdaki hata $(\Delta x)^5$ derecesinde olacaktır. Böylece daha çok sayıda adımla çözüme başladığımızda Milne yöntemi diğer iki yöntemden de daha doğru sonuçlar verecektir. Bununla beraber Milne yönteminin bir dezavantajı vardır. Burada yöntemin başlama işleminin olmayışıdır. Fakat sonradan görüleceği gibi bu o kadar önemli değildir.

Milne yönteminde işleme verilen $y=f(x)$ eğrisinin altındaki bölgeyi Δx genişliğinde dört şeride ayırmakla başlanır.



Şekil 3-1

Eğrinin altındaki gerçek alan, daha sonra bu dört şeritli alan göz önüne alınarak oluşturulan ve gerçek eğri ile üç ortak noktası olan 2. derece parabole yaklaştırılır. Taranmış alan elde edilen yaklaşık alandır. Bu taranmış alan için uygun y ordinatları ve Δx ler cinsinden bir ifade elde etmek için şekil (3.1-b) deki gibi bu dört şeridi y eksenini üzerinde merkezileşmiş olarak alabiliriz. Bu düzenleme elde edilen sonuçlar üzerinde herhangi bir değişiklik yapmaz.

(3.1-b) şeklinin taranmış alanı:

$$A_4 = \int_{-2(\Delta x)}^{2(\Delta x)} (ax^2 + bx + c) dx$$

$$A_4 = \frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \Big|_{-2(\Delta x)}^{2(\Delta x)} = \quad (3.1-a)$$

$$A_4 = \frac{8a(\Delta x)^3}{3} + \frac{4b(\Delta x)^2}{2} + 2c\Delta x + \frac{8a(\Delta x)^3}{3} - \frac{4b(\Delta x)^2}{2} + 2c\Delta x \quad (3.1-b)$$

$$A_4 = \frac{16a(\Delta x)^3}{3} + 4c(\Delta x) \quad (3.1-c)$$

a ve c sabitleri $(0, y_{i-1})$, $(-\Delta x, y_{i-2})$, $(\Delta x, y_i)$ noktalarını $y = ax^2 + bx + c$ denkleminde yerleştirmekle bulunabilir.

$$c = y_{i-1}, \quad y_{i-2} = a(\Delta x)^2 + b(-\Delta x) + y_{i-1} \quad (3.2-a)$$

$$y_i = a(\Delta x)^2 + b(\Delta x) + y_{i-1} \quad (3.2-b)$$

(3.2-a) ve (3.2-b) terimlerini toplarsak,

$$a = \frac{y_i - 2y_{i-1} + y_{i-2}}{2(\Delta x)^2}$$

bulunur.

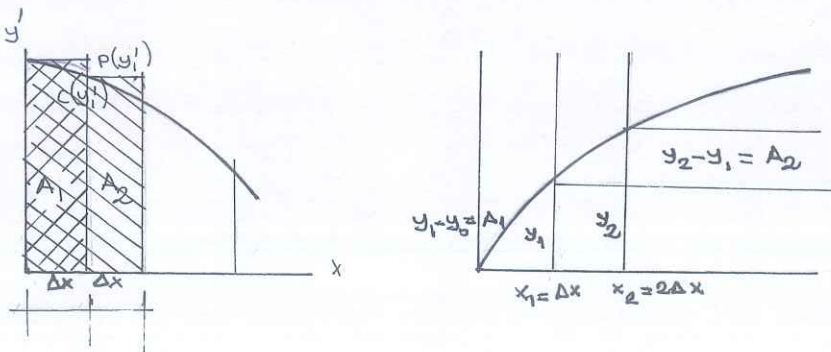
Buradan dört şeritli bölgenin alanını Δx ve y ler cinsinden yazabiliriz.

$$A_4 = \frac{16}{6(\Delta x)^2} (y_i - 2y_{i-1} + y_{i-2}) (\Delta x)^3 + 4y_{i-1} (\Delta x) \quad (3.3-a)$$

$$A_4 = \frac{4}{3} \Delta x (2y_i - y_{i-1} + 2y_{i-2}) \quad (3.3-b)$$

Bu terim sonradan kullanılacaktır.

Milne yönteminin uygulaması için $y' = f(x, y)$ şeklinde 1. dereceden bir denklem göz önüne alalım $x=0$ için y değeri bilinsin. $x=\Delta x$ noktasındaki y değerini Euler yönteminden hesaplayabiliriz.



Şekil 2-3
3-2

y' nin $x=0$ dan $x=\Delta x$ e değişimi x in verilen değerle-
ri arasındaki y' eğrisinin alanıdır. Bu bölgenin yaklaşık
aralığını A_1 alanına eşit kabul ederek: $A_1 = y_1 - y_0 = y'_0(\Delta x) \Rightarrow$
 $y_1 = y_0 + y'_0(\Delta x)$ bulunur. Ufak Δx değerleri kullanarak y_1 in
yaklaşık değerleri sağlanır. Böylece y'_1 ye de $y'_1 = f(x, y_1)$ (de-
ęerinin, x_1 den x_2 ye kadar olan eğrinin altındaki alana
eşit olması nedeni ile A_2 alanını şu şekilde ifade edebili-
riz.)

$$y_2 - y_1 = y'_1(\Delta x) \quad (3.4)$$

$$y_2 = y_1 + y'_1(\Delta x) \quad (3.5)$$

y'_2 değerini y_2 yi $y'_2 = f(x, y_2)$ denkleminde yerine koyarak bu-
labiliriz. Bu denkleme EULER İLERİ FARKLAR denklemi denir.

Milne yönteminin ilk adımı olarak y nin önceki de-
ęerini ($x=\Delta x$ noktasındaki) Euler denkleminde yazabiliriz.

$p(y_1) = y_0 + y'_0(\Delta x)$ $p(y_1)$ y_1 in ÖNCEKİ değeridir.
 $y'_0(\Delta x)$ alanı şekil (3.2-a) da görüldüğü gibi A_1 alanını ve-
rir. Bu alan diferansiyel denklemde verilen eğrinin altın-
daki alandan kesin olarak daha büyüktür.

Düzeltilmiş y değerini hesaplamak için Değiştirilmiş
Euler metodunu göz önüne almak gerekir.

Eğer y nin ÖNCEKİ değeri verilen diferansiyel denk-
lemde yerine konursa, yaklaşık bir y'_1 değeri bulunabilir.
Bu değer y_1 in önceki değerine göre hesaplandığından y'_1 ye
 $p(y'_1)$ diyeceğiz. şekil (3.2-a) daki A_1 alanı için taranmış

yamuk şeklindeki alanı kullanarak $C(y_1)$ ile göstereceğimiz y_1 in DÜZELTİLMİŞ değerini hesaplayabiliriz.

$$C(y_1) = y_0 + \left(\frac{y'_0 + p(y'_1)}{2} \right) \Delta x \quad (3.6)$$

Düzeltilmiş y_1 değeri $y'_1 = f(x, y_1)$ denkleminde yerine konarak, $C(y'_1)$ şeklinde ifade edilen düzeltilmiş y'_1 değeri hesaplanır. İterasyon işlemine, y_1 in daha iyi yaklaşım verecek olan değerini elde etmek için, $C(y'_1)$ yü (3.6) denkleminde $p(y'_1)$ yerine koyarak devam edilir. Aynı işleme istenilen bir ϵ değerinden daha az farklı olan y_1 değerine ulaşıncaya kadar devam edilir.

Bulunan y_1 değeri istenilen değer ise, y_2 değerini hesaplamak için bir adım ilerleyebiliriz. Bu işleme ise;

$P(y_2) = y_1 + y'_1 (\Delta x)$ denklemi ile başlanır. $P(y_2)$, y_2 nin önceki değeridir. y_1 ve y'_1 önceki iterasyonda hesaplanmış en doğru değerlerdir. Önceki adımdaki işlemler burada da aynen tekrarlanarak iterasyon işlemine devam edilir.

Herhangi bir adımdaki genel formdaki denklemler ise aşağıdaki şekildedir:

$$\text{ÖNCEKİ DENKLEM} \quad P(y_{i+1}) = y_i + y'_i (\Delta x) \quad (3.7)$$

$$\text{DÜZELTİLMİŞ DENKLEM} \quad C(y_{i+1}) = y_i + \left(\frac{y'_i + P(y'_{i+1})}{2} \right) \Delta x \quad (3.8)$$

(3.7) ve (3.8) denklemlerinden her adımdaki hatanın $(\Delta x)^3$

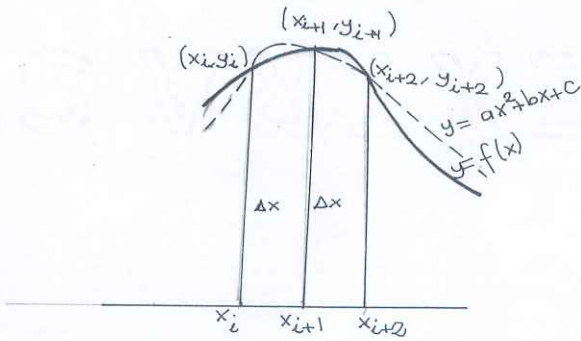
derecesinde olduğu görülür.

Buraya kadar değiştirilmiş Euler metodunu kullanarak hesapladığımız düzeltilmiş y değerlerini, şimdi Milne Yöntemini kullanarak hesaplayalım.

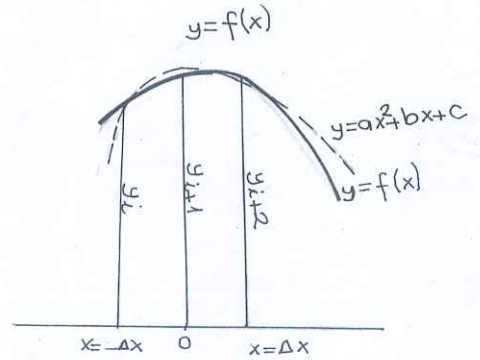
ÖNCEKİ DENKLEM:
$$P(y_{i+1}) = y_{i-3} + \frac{4}{3} \Delta x (2y'_i - y'_{i-1} + 2y'_{i-2})$$

şeklindedir. (3.3-b) denklemi ve şekil (3.1-a) göz önüne alınarak $P(y_{i+1})$ değerini hesaplamış olduk.

Milne DÜZELTİLMİŞ DENKLEM'ini oluştururken Simpson yöntemi kullanılarak düzeltilmiş y değerleri hesaplanır. Kısaca simpson yöntemini açıklayalım. Simpson kuralı, eşit genişlikteki şeritlere ayrılmış olan bir eğrinin alanını yaklaşık olarak elde etmek için kullanılır.



2. derece parabol kullanarak bir eğrinin altındaki alanın yaklaşımı



y eksenine simetrik olarak alınmış iki şeritli bölgenin alanı.

Şekil (3.3)

3 nokta ile belirlenmiş ikinci derece parabol denklemi

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3.9)$$

şeklindedir. (3.9) un $-\Delta x$ den Δx 'e integrasyonu iki şeritli parabolün altındaki alanı verir.

$$A_2 = \int_{-\Delta x}^{\Delta x} (ax^2 + bx + c) dx = \frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx \Big|_{-\Delta x}^{\Delta x} \quad (3.10-a)$$

$$A_2 = \frac{2}{3} a (\Delta x)^3 + 2c(\Delta x) \quad (3.10-b)$$

a ve c sabitleri $(0, y_{i+1})$, $(-\Delta x, y_i)$, $(\Delta x, y_{i+2})$ noktalarını (3.9) denkleminde yerleştirilerek elde edilir.

$$y_i = a(-\Delta x)^2 + b(-\Delta x) + c \quad (3.11-a)$$

$$y_{i+1} = c \quad (3.11-b)$$

$$y_{i+2} = a(\Delta x)^2 + b(\Delta x) + c \quad (3.11-c)$$

Bu denklemleri çözerek,

$$a = \frac{y_i - 2y_{i+1} + y_{i+2}}{2(\Delta x)^2} \quad (3.12-a)$$

$$b = \frac{y_{i+2} - y_i}{2(\Delta x)} \quad (3.12-b)$$

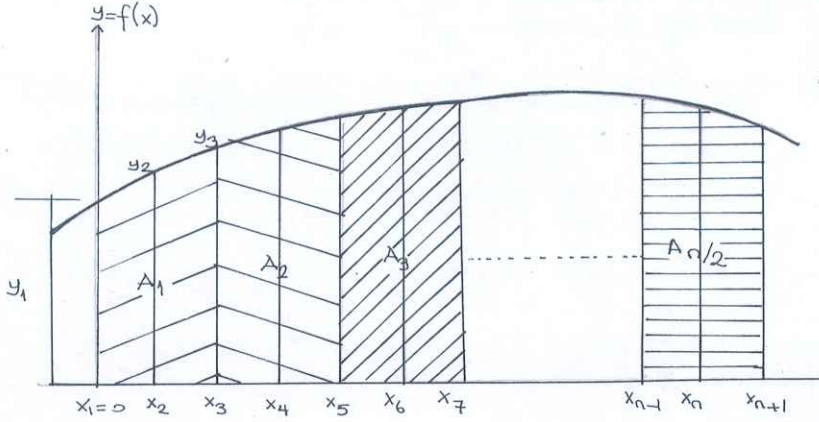
$$c = y_{i+1} \text{ bulunur.} \quad (3.12-c)$$

Buradan:

$$A_2 = \frac{\Delta x}{3} (y_i + 4y_{i+1} + y_{i+2}) \quad (3.12-d)$$

olarak y_i , y_{i+1} , y_{i+2} cinsinden 3 noktadan geçen eğrinin altındaki alan hesaplanabilir.

Eğer eğrinin altındaki iki x değeri arasındaki alan n üniform şeride ayrılırsa A_2 denklemi şu hale gelir.



Şekil 3-4

Çift sayıda bölgeye ayrılmış eğrinin altındaki alanın yaklaşımı için Simpson yöntemi

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{\Delta x}{3} (y_1 + 4y_2 + y_3) \\
 A_2 &= \frac{\Delta x}{3} (y_3 + 4y_4 + y_5) \\
 &\vdots \\
 A_{n/2} &= \frac{\Delta x}{3} (y_{n-1} + 4y_n + y_{n+1})
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\int_{x_1=0}^{x_{n+1}} f(x) dx = \sum_{i=1}^{n/2} A_i = \frac{\Delta x}{3} (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + \dots + 2y_{n-1} + 4y_n + y_{n+1}) \tag{3.14}$$

$$\int_{x_1=0}^{x_{n+1}} f(x) dx = \frac{\Delta x}{3} \left[y_1 + 4 \sum_{i=2,4,6}^n y_i + 2 \sum_{i=1,3,5}^{n-1} y_i + y_{n+1} \right] \tag{3.15}$$

(ni çift sayı) 1/3 SİMPSON YÖNTEMİ

Bu yöntem, alan Δx genişliğinde çift sayıda bölgeye ayrıldığı zaman uygulanır.

Simpson yönteminden faydalanarak DÜZELTİLMİŞ DENKLEM,

$$C(y_{i+1}) = y_i + \left[\frac{y'_i + P(y'_{i+1})}{2} \right] \Delta x \quad (3.16-a)$$

halinden

$$C(y_{i+1}) = y_{i-1} + \frac{\Delta x}{3} [y'_{i-1} + 4y'_i + P(y'_{i+1})] \quad (3.16-b)$$

haline gelir. (3.16-b) denkleminin şekil (3.1-a) ve (3.12-d) denklemi göz önüne alınarak oluşturulduğu açıktır.

Sonuçta elde edilen y ve y' eğrilerinin genel formda olduğunu kabul edersek, ilk adım y_4 ün ÖNCEKİ DEĞERİ'ni hesaplamak olacaktır.

$i=3$ için:

$$P(y_{i+1}) = y_{i-3} + \frac{4}{3} \Delta x (2y'_i - y'_{i-1} + 2y'_{i-2}) \quad (3.17-a)$$

Burada bulunan y_4 ün önceki değeri diferansiyel denklemde yerine konur. y'_4 nün önceki değeri elde edilir. Bu değer sonra düzeltici denklemde yerine konarak y_4 ün düzeltilmiş değeri hesaplanır.

$$P(y_4) = y_0 + \frac{4}{3} \Delta x (2y'_3 - y'_2 + 2y'_1) \quad (3.17-b)$$

$$C(y_4) = y_2 + \frac{\Delta x}{3} (y'_2 + 4y'_3 + P(y'_4)) \quad (3.18)$$

Bu üç adım Milne yöntemindeki ilk adımlardır.

$P(y_4)$ ve $C(y_4)$ değerlerinin elde edilmesinden önce y_1' , y_2' , y_3' ve y_2 için başlangıç değerlerini hesaplamamız gerekir. Daha sonraki adımda da $P(y_5)$ ve $C(y_5)$ değerini elde etmek için y_1 ve y_3 için başlangıç değeri bilinmelidir. Gerekli y başlangıç değerleri Rungekutta yöntemi ile bulunabilir. Çünkü Runge-Kutta yöntemini uygularken diferansiyel denklemin yüksek dereceden türevleri gerekmez; böylece başlangıç değerleri bilgisayarda kolaylıkla hesaplanabilir.

Belirlenen başlama işleminden sonraki adımlar şöyle özetlenebilir:

$$3.19-a) \text{ ÖNCEKİ DENKLEM: } P(y_{i+1}) = y_{i-3} + \frac{4}{3} \Delta x [2y_i' - y_{i-1}' + 2y_{i-2}']$$

$$3.19-b) \text{ DİFERANSİYEL DENKLEM: } P(y_{i+1}') = f [x_{i+1}, P(y_{i+1})]$$

$$3.19-c) \text{ DÜZELTİCİ DENKLEM: } C(y_{i+1}) = y_{i+1} + \frac{\Delta x}{3} [y_{i-1}' + 4y_i' + P(y_{i+1}')]$$

$$3.19-d) \text{ DİFERANSİYEL DENKLEM: } C(y_{i+1}') = f [x_{i+1}, C(y_{i+1})]$$

İTERASYONU gerçekleştiren

$$\text{DÜZELTİCİ DENKLEM: } C(y_{i+1}) = y_{i+1} + \frac{\Delta x}{3} [y_{i-1}' + 4y_i' + C(y_{i+1}')]$$

(3.19-d) ve (3.19-e) denklemlerinden sonra iterasyon işlemi verilen bir ϵ değerinden daha az farklı y_4 değerlerini elde edinceye kadar devam eder. y_4 istenilen hassaslıkta elde edildikten sonra x artışı ile bir sonraki adımda y_5 değerlerinin hesaplanmasına geçilir.

MİLNE YÖNTEMİ İLE İNTEGRASYONUN GRAFİK GÖSTERİLİMİ

Şekil (3.5)

3.2. $y''=f(x,y,y')$ ŞEKLİNDEKİ 2. DERECE DENKLEMİNİN UYGULANMASI:

Runge-Kutta yöntemi ile $y_1, y_2, y_3; y'_1, y'_2, y'_3$ değerleri ve bu değerlerin diferansiyel denklemde yerine konması ile elde edilen y''_1, y''_2, y''_3 ler hesaplandıktan sonra yapılacak işlemleri kısaca şöyle açıklayabiliriz.

$$\text{ÖNCEKİ DENKLEM: } P(y'_{i+1}) = y'_{i-3} + \frac{4}{3} (\Delta x) [2y''_i - y''_{i-1} + 2y''_{i-2}] \quad (3.20)$$

1/3 Simpson kuralı ile y_{i+1} önceki değerini hesaplayalım.

$$P(y_{i+1}) = y_{i+1} + \frac{\Delta x}{3} (y'_{i+1} + 4y'_i + y'_{i-1}) \quad (3.21)$$

Bulunan bu değerler diferansiyel denklemde yerine konursa:

$$P(y''_{i+1}) = f[x_{i+1}, P(y_{i+1}), P(y'_{i+1})] \quad (3.22)$$

denklemini elde ederiz.

$$\text{DÜZELTİCİ DENKLEM: } C(y_{i+1}') = y_{i-1}' + \frac{\Delta x}{3} (y_{i+1}'' + 4y_i'' + P(y_{i+1}'')) \quad (3.23)$$

y_{i+1} in düzeltilmiş değeri yine 1/3 Simpson kuralı ile

$$C(y_{i+1}') = y_{i-1}' + \frac{\Delta x}{3} (y_{i+1}' + 4y_i' + y_{i-1}') \quad (3.24)$$

olarak hesaplanır.

Bulunan bu düzeltilmiş değerler diferansiyel denklemde yerine konarak:

$$C(y_{i+1}'') = f(x_{i+1}, C(y_{i+1}'), C(y_{i+1}')) \quad (3.25)$$

denklemini elde edilir.

$i=3$ için iterasyon işlemine başladığımız zaman, istenilen hassaslıkta y_4 değeri hesaplandıktan sonra bir adım ileri giderek aynı işlemleri tekrarlarız ve böylece y_5' ve y_5'' değerlerini elde ederiz. Bu işlem x değişkeninin alacağı maksimum değere kadar devam eder.

3.3. $y' = f(x, y)$ ŞEKLİNDEKİ DİFERANSİYEL DENKLEME RUNGE-KUTTA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

$y' = f(x, y)$ şeklindeki diferansiyel denklemin çözümü-nü Milne yöntemi ile bulabilmek için, başlangıç değerlerinin saptanması gerekir. Bu işlem ise Runge-Kutta yöntemi ile yapılmaktadır.

$y' = f(x, y)$ olarak verilen diferansiyel denklemde Runge-Kutta ileri integrasyon formülü

$$\bar{x} = x_i + \alpha h, \quad \bar{y} = y_i + \beta h \quad (3.26)$$

$$h(x_{i+1} - x_i) \quad (3.27)$$

noktalarını saptayarak elde edilir. Burada $\bar{\Delta} y_i$ artışı şöyle hesaplanmaktadır.

$$\bar{\Delta} y_i = y_{i+1} - y_i = f(\bar{x}, \bar{y}) h \quad (3.28)$$

$\bar{\Delta} y_i$ terimi, Δy_i artışına denktir. Δy_i , Taylor serisinden;

$$\Delta y_i = y_i' h + y_i'' \frac{h^2}{2} + y_i''' \frac{h^3}{3} + \dots \quad (3.29)$$

olarak hesaplanmaktadır.

$\bar{x}$ ve $\bar{y}$ noktaları, $\bar{x} = x_i$, $\bar{y} = y_i$ den ve $\alpha = \beta = 0$ başlangıç değerleri alınarak, sonlu sayıda adım ile hesaplanabilir.

Örneğin, ikinci derece Runge-Kutta formülü, Taylor serisinin ilk, iki terimini alarak bunu $\bar{\Delta} y_i$ de yerleştirmekle türetilir.

$$f(\bar{x}, \bar{y}) = f(x_i + \alpha h, y_i + \beta h) = y_i' + y_i'' \frac{h}{2} \quad (3.30)$$

$f(\bar{x}, \bar{y})$ fonksiyonunu, (x_i, y_i) civarında çift Taylor serisine açmadan önce, genel bir fonksiyon için çift Taylor serisinin ifadesini yazalım.

$f(x, y)$ fonksiyonunun (x_0, y_0) civarındaki Taylor serisi,

$$\begin{aligned}
f(x_0+x, y_0+y) = & f(x_0, y_0) + [f_x(x_0, y_0)x + f_y(x_0, y_0)y] \\
& + \frac{1}{2!} [f_{xx}(x_0, y_0)x^2 + 2f_{xy}(x_0, y_0)xy + f_{yy}(x_0, y_0)y^2] \\
& + \frac{1}{3!} [f_{xxx}(x_0, y_0)x^3 + 3f_{xxy}(x_0, y_0)x^2y + 3f_{xyy}(x_0, y_0)xy^2 + \\
& + f_{yyy}(x_0, y_0)y^3] + \dots
\end{aligned}$$

şeklinde gösterilir.

(3.31)

Bu ifade şöyle hesaplanmıştır.

İki bağımsız değişkeni olan $z=f(x,y)$ fonksiyonunu kısmi türevlerini yazalım.

$$f_z = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad f_y = \frac{\partial z}{\partial y}, \quad f_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad f_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, \quad f_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2},$$

(3.32)

$$f(x_0+x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^n(x_0)}{n!} x^n$$

(3.33)

Taylor serisine $f(x_0+x, y_0)$ fonksiyonunu uygulayalım. Burada f sadece x in fonksiyonudur, y_0 sabittir.

$$f(x_0+x, y_0) = f(x_0, y_0) + f_x(x_0, y_0) \frac{x}{1!} + f_{xx}(x_0, y_0) \frac{x^2}{2!} + \dots$$

(3.34)

Şimdi y_0 yerine y_0+y koyarsak denklemin her iki tarafı,

$$f(x_0+x, y_0+y) = f(x_0, y_0+y) + f_x(x_0, y_0+y) \frac{x}{1!} + f_{xx}(x_0, y_0+y) \frac{x^2}{2!} + \dots$$

(3.35)

x_0 sabit iken, x in her kuvvetinin katsayısını Taylor serisi yardımı ile, y_0 noktası civarındaki y noktasında kuvvet serisine açarsak;

$$\begin{aligned}
 f(x_0, y_0 + y) &= f(x_0, y_0) + f_y(x_0, y_0) \frac{y}{1!} + f_{yy}(x_0, y_0) \frac{y^2}{2!} + \dots \\
 f_x(x_0, y_0 + y) &= f_x(x_0, y_0) + f_{xy}(x_0, y_0) \frac{y}{1!} + f_{xyy}(x_0, y_0) \frac{y^2}{2!} + \dots \\
 f_{xx}(x_0, y_0 + y) &= f_{xx}(x_0, y_0) + f_{xxy}(x_0, y_0) \frac{y}{1!} + f_{xxyy}(x_0, y_0) \frac{y^2}{2!} + \dots \\
 &\dots\dots\dots (3.36)
 \end{aligned}$$

sistemini elde ederiz.

Bu ifadeler (3.35) denkleminde yerine konulursa, iki değişkenli fonksiyon için Taylor serisi elde edilir.

Bizim problemimizde ise (x_i, y_i) noktası civarındaki çift Taylor serisi, ilk iki terimden sonraki terimler ke-sildikten sonra,

$$f(x_i + \alpha h, y_i + \beta h) = f_i + \alpha h f_{x,i} + \beta h f_{y,i} \quad (3.37)$$

şeklindedir.

0 halde;

$$y_i' + y_i'' \frac{h}{2} = \left[f + \frac{h}{2} \frac{df}{dx} \right]_{x=x_i} \quad (3.38)$$

yazılabilir. Burada $f(x, y)$ fonksiyonu sadece x in fonksiyonu olarak düşünülüyor.

$$\frac{df(x, y)}{dx} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{dx} = f_x + f_y \cdot f \quad (3.39)$$

olarak tanımlanırsa,

$$y_i' + \frac{h}{2} y_i'' = f_i + \frac{h}{2} (f_{x,i} + f_{y,i} f_i) \quad (3.40)$$

bulunur.

$$f_i + \alpha h f_{x,i} + \beta h f_{y,i} = f_i + \frac{h}{2} f_{x,i} + \frac{h}{2} f_{y,i} f_i \quad (3.41)$$

$$\alpha = \frac{1}{2}, \quad \beta = \frac{1}{2} f_i \quad \text{alınırsa,}$$

$$\bar{x} = x_i + \frac{h}{2}, \quad \bar{y} = y_i + \frac{h}{2} f_i \quad (3.42)$$

elde edilir.

Son olarak:

$$k_1 = hf_i = hf(x_i, y_i) \quad (3.43)$$

$$k_2 = hf(\bar{x}, \bar{y}) = hf\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2} \Delta' y_i\right) \quad (3.44)$$

ifadeleri bulunur.

$\bar{\Delta} y_i$ deki hata h^3 derecesindedir.

Benzer olarak, dördüncü derece Runge-Kutta formülünü çıkarmak istersek hatamız h^5 derecesinde olacaktır; böylece Runge-Kutta formülünü Milne yöntemine uygularken, hatalar Milne yönteminde olduğu gibi h^5 derecesinde hesaplanacaktır.

$$k_1 = hf(x_i, y_i) \quad (3.45-a)$$

$$k_2 = hf\left(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2} k_1\right) \quad (3.45-b)$$

$$k_3 = hf(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{1}{2} k_2) \quad (3.45-c)$$

$$k_4 = hf(x_i + h, y_i + k_3) \quad (3.45-d)$$

$$y_{i+1} = \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (3.46)$$

3.4. $y''=f(x,y,y')$ ŞEKLİNDEKİ DİFERANSİYEL DENKLEME RUNGE-KUTTA YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

$y''=f(x,y,y')$ şeklinde ikinci derece diferansiyel denklemin çözümü için gerekli başlangıç değerleri yine Runge-Kutta formülü ile hesaplanabilir.

$y''=f(x,y,y')$ denklemi için Runge-Kutta formülünü çıkarmadan önce, n. derece diferansiyel denklem için Runge-Kutta formülünü inşa edelim ve hesaplarımızda $n=2$ yi yerleştirerek, 2 derece diferansiyel denklemde Runge-Kutta formülünü elde edelim.

n. derece diferansiyel denklem

$$y^n = f(x,y,y',\dots, y^{n-1}) \quad (3.47)$$

aşağıdaki başlangıç şartları ile verilmiş olsun.

$$y_0^{(v)} = y^{(v)}(x_0) \quad v = 0, 1, \dots, n-1 \quad (3.48)$$

y ve $x_1 = x_0 + h$ noktasındaki $y^{(v)}$ türevleri için yaklaşık değerler oluşturulabilir.

Taylor serisinde, $y_0^{(n-1)}$ inci terimde kesilmiş olarak başlangıç değerlerini yerleştirecek olursak uygun yaklaşımlar elde edilir. $y_1^{(v)}$ için aşağıdaki formülü elde ederiz.

$$y_0^{(v)} + \frac{h}{1!} y_0^{(v+1)} + \frac{h^2}{2!} y_0^{(v+2)} + \dots + \frac{h^{n-v-1}}{(n-v-1)!} y_0^{(n-1)} = T_v (1) \quad (3.49)$$

Burada T_v notasyonu belirlenmiş değerdir.

Genel olarak T_v değeri için

$$T_v (\alpha) = y_0^{(v)} + \frac{\alpha h}{1!} y_0^{(v+1)} + \frac{(\alpha h)^2}{2!} y_0^{(v+2)} + \dots + \frac{(\alpha h)^{n-v-1}}{(n-v-1)!} y_0^{(n-1)} \quad (3.50)$$

$$v = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$$

Daha iyi sonuçlar elde etmek için bu kesilmiş Taylor serilerine bir DÜZELTME TERİMİ ilave ederiz. Bunları $k, k', k'', \dots, k^{(n-1)}$ olarak gösterelim.

$$y_1^{(v)} = T_v (1) + \frac{v!}{h^v} k^{(v)} \quad v = 0, 1, \dots, n-1 \quad (3.51)$$

v . türetme sonunda $y^{(v)}(x_1)$ oldukça doğrudur. Şimdi, integrasyon işleminde ki iyi bilinen pek çok nümerik yöntem içeren genel bir formülasyon tanımlayalım.

Düzeltilme terimleri $k^{(v)}$ ler lineer kombinezon şeklinde ifade edilebilir.

$$k^{(v)} = \sum_{Q=1}^r \gamma_{vQ} k_Q \quad (v = 0, 1, \dots, n-1) \quad (3.52)$$

Bütün $k^{(v)}$ değerleri f fonksiyonunun terimleri cinsinden ifade edilebilir.

$$k_1 = \frac{h^n}{n!} f(x_0, T_0(0), T_1(0) \dots T_{n-1}(0))$$

$$k_2 = \frac{h^n}{n!} f(x_0 + \alpha_1 h, T_0(\alpha_1) + a_{10}k_1, T_1(\alpha_1) + a_{11}k_1 \dots, \\$$

$$T_{n-1}(\alpha_1) + a_{1,n-1}k_1) \quad (3.53)$$

$$k_3 = \frac{h^n}{n!} f(x_0 + \alpha_2 h, T_0(\alpha_2) + a_{20}k_1 + b_{20}k_2 \dots, \\$$

$$T_{n-1}(\alpha_2) + a_{21}k_1 + b_{21}k_2)$$

$T_v(\alpha_Q)$ lar belirlendiğinden dolayı $(x, y, y', \dots, y^{n-1})$ fonksiyonunun $(Q=1, 2, \dots, r)$ olan r tane noktası gerçek çözüme yakın çözüm verir.

$$x = x_0 + \alpha_Q h, \quad y = T_0(\alpha_Q), \quad y' = T_1(\alpha_Q), \dots, y^{n-1} = T_{n-1}(\alpha_Q)$$

dir. (3.54)

$$y^{(v)}(x_1) = T_v(1) + \frac{h^{n-v}}{(n-v)!} y_0^{(n)} + \frac{h^{n-v+1}}{(n-v+1)!} y_0^{(n+1)} + \dots \quad (3.55-a)$$

$$y^{(v)}(x_1) = T_v(1) + \frac{v!}{h^v} \left[\binom{n}{v} \frac{h^n y_0^{(n)}}{n!} + \binom{n+1}{v} \frac{h^{n+1} y_0^{(n+1)}}{(n+1)!} + \dots \right] \quad (3.55-b)$$

$$y^n = f \quad y_0^{(n+1)} = \left. \frac{dy^n}{dx} \right|_0 = \frac{df}{dx} \quad \text{ve} \quad \frac{d}{dx} = D \quad (3.56)$$

dersek,

$$D = \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} y' + \frac{\partial}{\partial y'} y'' + \dots + \frac{\partial}{\partial y^{(n-1)}} y^{(n)} \quad (3.57)$$

$$y^{(n+1)} = Df = f_x + f_y y' + f_{y'} y'' + \dots + f_{y^{(n-1)}} y^{(n)} \quad (3.58)$$

$$y^{(n+2)} = \frac{d}{dx} (Df) = \frac{\partial}{\partial x} (Df) + \frac{\partial}{\partial y} (Df) y' + \dots + \frac{\partial}{\partial y^{(n-1)}} (Df) \cdot y^{(n-1)} \quad (3.59-a)$$

$$y^{(n+2)} = D^2 f + f_{y''} y'' + f_{y'} y''' + \dots + y^{(n-1)} f_{y^{(n-3)}} + f_{y^{(n-2)}} + f_{y^{(n-1)}} Df \quad (3.59-b)$$

$$y^{(n+2)} = Ef \quad (3.60)$$

E: f fonksiyonuna uygulanan operasyona denir.

$$\frac{\partial f}{\partial y} = f_0, \quad \frac{\partial f}{\partial y'} = f_1, \quad \frac{\partial f}{\partial y''} = f_2$$

$$f_{y^{(n-1)}} = \frac{\partial f}{\partial y^{(n-1)}}, \quad f_{y^{(n-2)}} = \frac{\partial f}{\partial y^{(n-2)}} \quad (3.61)$$

$$y_1^{(v)} = T_v(1) + \frac{v!}{h^v} k^{(v)} \quad (3.62)$$

denklemini ile

$$y^{(v)}(x_1) = T_v(1) + \frac{v!}{h^v} \left[\binom{n}{v} \frac{h^n}{n!} f + \binom{n+1}{v} \frac{h^{n+1}}{(n+1)!} Df + \right. \\ \left. + \binom{n+2}{v} \frac{h^{n+2}}{(n+2)!} Ef + \binom{n+3}{v} \frac{h^{n+3}}{(n+3)!} (Ef + f_{y^{(n-1)}} Ef + f_{y^{(n-2)}} Df) + \dots \right]$$

denklemini karşılaştırırsak şu denklemini elde ederiz.

$$k^{(v)} = \frac{h^n}{n!} \left[\binom{n}{v} f + \binom{n+1}{v} \frac{h}{n+1} Df + \binom{n+2}{v} \frac{h^2}{(n+1)(n+2)} Ef + \right. \\ \left. + \binom{n+3}{v} \frac{h^3}{(n+1)(n+2)(n+3)} (Ff + f_{n-1} Ef + f_{n-2} Df) + \dots \right] \quad (3.64)$$

k_1, k_2, k_3, k_4 değerlerini veren özel formülü bulmak için $\alpha_1 = \alpha_2 = \frac{1}{2}$ ve $\alpha_3 = 1$ alalım. Böylece k_2 ve k_3 aralığını orta noktasında, k_4 aralığının sonunda ve k_1 aralığının başında belirlenmiş olur.

(3.51), (3.53) ve (3.64) denklemlerini karşılaştırarak

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \quad \text{bulunduğundan ve}$$

$$a_{10} = \frac{0!}{h^0} \binom{n}{0} \frac{\alpha^n h^n}{n!} f \quad (3.65)$$

$$\frac{h^n}{n!} f = k_1 \quad (3.66)$$

olarak önceden hesaplandığından

$$a_{10} = \alpha^n = \frac{1}{2^n} \quad (3.67)$$

bulunur.

$$y_1^{(v)} = T_v(1) + \frac{v!}{h} k^v \quad (3.68)$$

formülü $\alpha = 1$ olduğu zaman geçerli olur.

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \quad \text{iken}$$

$$y_1^{(v)} = T_v \left(\frac{1}{2} \right) + \frac{v!}{h^v} \alpha^{(n-v)} k^v \quad (3.69)$$

haline gelir.

a_{11} katsayısının hesaplanması için $v=1$ olur.

$$a_{11} = \frac{1!}{h} \alpha^{(n-1)} k_1 \binom{n}{1} = \frac{1!}{h} \frac{1}{2^{n-1}} \binom{n}{1} \quad (3.70)$$

a_{20} katsayısının hesaplanması için $v=0$ değerini aldığından,

$$a_{20} = \frac{1}{2^n} \text{ olarak bulunur.}$$

Diğer katsayılar da benzer olarak hesaplanırsa,

$$k_2 = \frac{h^n}{n!} f \left[x_0 + \frac{h}{2}, T_0 \left(\frac{1}{2} \right) + \frac{k_1}{2^n}, T_1 \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{1} \frac{1! k_1}{2^{n-1} h}, \right.$$

$$T_2 \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{2} \frac{2! k_1}{2^{n-2} h^2} \dots, \quad \left. T_{n-2} \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{n-2} \frac{(n-2)! k_1}{4h^{n-2}}, T_{n-1} \left(\frac{1}{2} \right) + \frac{n! k_1}{2h^{n-1}} \right],$$

(3.71)

$$k_3 = \frac{h^n}{n!} f \left[x_0 + \frac{h}{2}, T_0 \left(\frac{1}{2} \right) + \frac{k_1}{2^n}, T_1 \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{1} \frac{1! k_1}{2^{n-1} h}, \right.$$

$$T_2 \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{2} \frac{2! k_1}{2^{n-2} h^2} \dots, \quad \left. T_{n-2} \left(\frac{1}{2} \right) + \binom{n}{n-2} \frac{(n-2)! k_1}{4h^{n-2}}, T_{n-1} \left(\frac{1}{2} \right) + \frac{n! k_2}{2h^{n-1}} \right],$$

(3.72)

$$\begin{aligned}
k_4 = \frac{h^n}{n!} f \left[x_0+h, \quad T_0(1)+k_3, \quad T_1(1) + \binom{n}{1} \frac{1!k_3}{h}, \right. \\
\left. T_2(1) + \binom{n}{2} \frac{2!k_3}{h^2} \dots, \right. \\
\left. T_{n-2}(1) + \binom{n}{n-2} \frac{(n-2)!k_3}{h^{n-2}}, \quad T_{n-1}(1) + \frac{n!k_3}{h^{n-1}} \right].
\end{aligned}
\tag{3.73}$$

k_2, k_3, k_4 değerleri için bulunan formüllerde $n=1$ koyarak 2. derece diferansiyel denklem için Runge-Kutta formülünü elde edebiliriz.

Çünkü Runge-Kutta formülü 4. dereceye kadar olan denklemlerde n yerine 1 koyarak hesaplanır.

$$k_1 = hf(x_i, y_i, y_i') \tag{3.74-a}$$

$$k_2 = hf\left(x_i + \frac{1}{2}h, \quad y_i + \frac{h}{2}y_i', \quad y_i' + \frac{k_1}{2}\right) \tag{3.74-b}$$

$$k_3 = hf\left(x_i + \frac{1}{2}h, \quad y_i + \frac{h}{2}y_i' + \frac{h}{4}k_1, \quad y_i' + \frac{k_1}{2}\right) \tag{3.74-c}$$

$$k_4 = hf\left(x_i+h, \quad y_i+hy_i' + \frac{h}{2}k_2, \quad y_i' + k_3\right) \tag{3.74-d}$$

Diferansiyel denklemin çözümünde bu formülü kullandığımız zaman $n=2$ için hatamız h^5 mertebesinde olacaktır.

$$y_{i+1} = y_i + hy_i' + \frac{h}{6}(k_1+k_2+k_3) \tag{3.75-a}$$

$$y_{i+1}' = y_i' + \frac{1}{6}(k_1+2k_2+2k_3+k_4) \tag{3.75-b}$$

4. PROGRAM İLE İLGİLİ AÇIKLAMALAR:

4.1. PROGRAMDA KULLANILAN ALT PROGRAMLAR:

GENEL ALTPROGRAMI:

Bilgisayar ile fiziksel problem arasındaki analogiyi kuran OPERATÖR NOTASYONLARI'nı veren alt programdır.

GERİLİ ALTPROGRAMI:

Ölçüm çarpanları ile diferansiyel denklemin en düşük dereceye kadar hesaplanmış türevlerinin çarpımları GERİLİM'leri verir. Bilgisayar gerilimlerinin ± 100 volt ile sınırlanmış olması ve bu özellik dikkate alınarak ölçüm çarpanlarının hesaplanmasından dolayı, gerilim değerleri -100 volt veya $+100$ volt değerlerinden birini alacaktır. Daha sonra bu denkleme GENEL altprogramında hesaplanan operatör notasyonları değerlerini uygularsak GERİLİM FORMUNDA'ki denklemleri elde ederiz.

SCALE ALTPROGRAMI:

ÖLÇÜM ÇARPAN'larını hesaplayan alt programdır.

İNTEG ALTPROGRAMI:

Devre diyagramından elde edilen devre denklemleri ile gerilim formundaki denklemlerin analogisi sonunda sabit giriş gerilimlerini, başlangıç şartı gerilimlerini, dirençler, kapasiteleri ve potansiyometre katsayılarını belirler.

OKU1, OKU2, OKU3, OKU4 ALTPROGRAMLARI:

Problemlerin teori kısmı için gerekli okuma işlemlerini yapan altprogramlardır.

OR1, OR2, OR3, ve OR4 ALTPROGRAMLARI:

Problemlerdeki maksimum hız ve maksimum yer değiştirmeleri; ayrıca, gerektiğinde başlangıç anındaki hız ve ivmeleri hesaplar.

SIFIR1 ALTPROGRAMI:

İki boyutlu dizinin elemanlarını sıfırlar.

SIFIR 2 ALTPROGRAMI:

Tek boyutlu dizinin elemanlarını sıfırlar.

POTAN 1 ALTPROGRAMI:

Uygun direnç ve kapasiteleri hesaplayarak potansiyometre katsayısının değerini belirler.

POTAN2 ALTPROGRAMI:

Uygun direnç değerlerini hesaplayarak potansiyometre katsayısının değerini belirler.

RUNGE 1 ALTPROGRAMI:

$y'=f(x,y)$ tipindeki 1. dereceden bir diferansiyel denkleme MİLNE yöntemini uygulamak için gerekli başlangıç şartı değerlerini yani y_1, y_2, y_3 ve y_1', y_2', y_3' değerlerini hesaplayan altprogramdır.

MİLNE 1 ALTPROGRAMI

$y'=f(x,y)$ şeklindeki diferansiyel denklemin nümerik

çözümünü $(\Delta x)^5$ derecesine bir hata ile hesaplar.

RUNGE 2 ALTPROGRAMI:

$y''=f(x,y,y')$ tipindeki 2. dereceden bir diferansiyel denkleme MİLNE yöntemini uygulamak için gerekli başlangıç şartı değerlerini, yani $y_1, y_2, y_3, y_1', y_2', y_3', y_1'', y_2'', y_3''$ değerlerini hesaplar.

MİLNE 2 ALTPROGRAMI:

$y''=f(x,y,y')$ şeklindeki diferansiyel denklemin nümerik çözümünü $(\Delta x)^5$ derecesinde bir hata ile verir.

SAYOR 1, SAYOR 2, SAYOR 3 ve SAYOR 4 ALTPROGRAMLARI:

Problemlerin nümerik çözümleri için gerekli okuma işlemlerini yapan; teorik çözümde hesaplanan ve nümerik çözüm içinde de kullanılan bazı bilgilerin atamalarını ve yeni hesaplamaları yapan altprogramlardır.

PR01, PR02, PR03, ve PR04 ALTPROGRAMLARI:

Problemlerin diferansiyel denklemlerini veren altprogramlardır.

PR01A, PR02A, PR03A ALTPROGRAMLARI:

Problemlerin teorik olarak hesaplanmış çözüm denklemlerini veren altprogramlardır.

4.2. PROGRAMDA KULLANILAN ÖNEMLİ DEĞİŞKENLER

DİZİLER VE MATRİSLER

DİZİLER

T1, T2, T3 ve T4 DİZİLERİ:

Diferansiyal denklemin analog bilgisayardaki analogjisini başlatmak üzere problemin verilerinin atandığı dizilerdir. Bu atamalar ile OPERATÖR NOTASYONLARI elde edilir.

GE DİZİSİ:

Hesaplanmış olan maksimum hız veya maksimum yer değiştirme ile ölçüm çarpanlarının çarpılması sonucunda analog bilgisayarın gerilimleri olan -100 volt veya +100 volt değerlerinden biri olan gerilim değerlerini veren dizidir.

ET1, ET2, ET3 ve ET4 DİZİLERİ

Operatör notasyonlarını oluşturan T1, T2, T3 ve T4 dizilerinin uygun ölçüm çarpanları ile çarpılması sonucunda GERİLİM FORMUNDAKİ denklemleri oluşturan dizilerdir.

AT1, AT2, AT3 ve AT4 DİZİLERİ

Problemin ifadesinde T1, T2, T3 ve T4 dizilerinin içeriklerinden farklı ifadeler mevcut ise, bu ifadeler hesaplandıktan sonra AT1, AT2, AT3 ve AT4 dizilerine atanırlar.

GAT1, GAT2, GAT3, ve GAT4 DİZİLERİ

AT1, AT2, AT3, ve AT4 değerlerinin ölçüm çarpanları

ile çarpıldıktan sonraki değerleri verirler. Böylece problemde genel terimlerden başka ifadeler bulunduğunda, bu ifadeler ölçüm çarpanları ile çarpılarak gerilim formundaki denklemlerin terimleri elde edilir.

Örneğin, problemde x terimi yerine $\frac{c}{m}x$ terimi mevcut ise AT1, AT2, AT3 veya AT4 dizilerinden uygun olanı seçilecektir.

S DİZİSİ

Ölçüm çarpanlarını simgeler maksimum gerilim değerini veren sabit sayının, maksimum yer değiştirmeler ve maksimum hızlara bölümü ile elde edilir.

AR VE AC DİZİLERİ

Uygun direnç ve kapasite değerlerini analogiye göre belirler.

SA DİZİSİ

Analojide katsayı potansiyometrelerinin belirlenmesinden önceki ifadeleri simgeler.

R ve C DİZİLERİ

Problemdeki direnç ve kapasite değerlerini verir.

EB DİZİSİ

Analoji sonucunda problemin başlangıç değerlerini simgeler.

EG DİZİSİ

Analoji sonucunda giriş gerilimlerini hesaplayan dizidir.

RC DİZİSİ

Hesaplanan direnç ve kapasite değerlerinin çarpımını veren dizidir.

AK DİZİSİ

Analoji ile katsayı potansiyometrelerinin değerlerini belirler.

XBH VE XCH DİZİLERİ

Problemdeki maksimum hız ve maksimum yer değiştirme değerlerini simgeler.

TK0, TK1, TK2 ve TK3 DİZİLERİ

Runge-Kutta yöntemindeki k_1 , k_2 , k_3 , k_4 değerlerini hesaplar.

yA1, yA2, yA3 ve HA1, HA2, HA3 DİZİLERİ

Runge-Kutta yöntemi ile k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 değerlerini belirlemek için, fonksiyonun y ve y' bileşenlerini hesaplar.

Bizim problemlerimizde y bileşenleri yer değiştirmeleri, y' bileşenleri hızları simgeler.

TZ0, TZ1, TZ2, ve TZ3 DİZİLERİ

RUNGE-KUTTA yönteminde fonksiyonun çeşitli bileşenleri için diferansiyel denklem değerini belirler.

YDOD ve YDDD DİZİLERİ

Milne yönteminde önceki y değerleri ile düzeltilmiş y değerlerini hesaplar.

YDOH ve YDDH DİZİLERİ

Milne yönteminde önceki y' değerleri ile düzeltilmiş y' değerlerini hesaplar.

Y4 ve H4 DİZİLERİ

Milne yönteminde iterasyon gereği yeniden düzeltilmiş y ve düzeltilmiş y' değerlerini hesaplar.

HAT VE HAT2 DİZİLERİ

Problemin nümerik çözümlerinin, teorik olarak hesaplanmış esas çözümlere göre hata oranlarını tek boyutlu olarak veren dizilerdir.

TS DİZİSİ

RUNGE-KUTTA yöntemindeki zaman değerini simgeler.

MATRİSLER

BS MATRİSİ

Problemin verileri arasında bulunan veya sonradan hesaplanan ivme değeri ile, problemin verileri arasındaki başlangıç hız ve başlangıç yer değiştirme değerlerini gösteren dizidir.

YS MATRİSİ

RUNGE-KUTTA yöntemindeki yer değiştirme değerlerini hesaplar.

HS MATRİSİ

RUNGE-KUTTA yöntemindeki hız değerlerini hesaplar.

YNOK MATRİSİ

RUNGE-KUTTA yönteminde fonksiyon değerini hesaplar.

YESAS VE HESAS MATRİSLERİ

Problemlerin teorik çözüm sonucunda hesaplanan esasyer değiştirme ve esas hız değerleri hesaplar.

HATA VE HATA2 MATRİSLERİ

Problemlerin nümerik çözümlerinin, teorik olarak hesaplanmış esas çözümlere göre hata oranlarını iki boyutlu olarak veren dizilerdir.

PROGRAMDA KULLANILAN ÖNEMLİ DEĞİŞKENLER

ISAR

Kaçıncı problemin çözüldüğünü gösterir.

IYAR

Problemin nümerik çözümünde kullanılan yöntemlerde hangi problemi çözdüğümüzü gösterir.

IKAR

Problemin nümerik çözümü için hangi yöntemin kullanılacağını gösterir.

4.3. GİRİŞ BİLGİLERİNİN DÜZENİ

M1: Uygun direnç değerini hesaplamak için tekrarlanabilecek iterasyon sayısını verir.

M2: Uygun kapasite değerini hesaplamak için tekrarlanabilecek iterasyon sayısını verir.

N ve M: BS matrisinin boyutunu belirler.

OM1, OM2, HA, SZ ve CZ: Problemlerin zel giriş değerlerini verirler.

TMAX: Hareketin devam edebileceği maksimum zamanı verir. Bazı problemlerde, problem içinde hesaplanır.

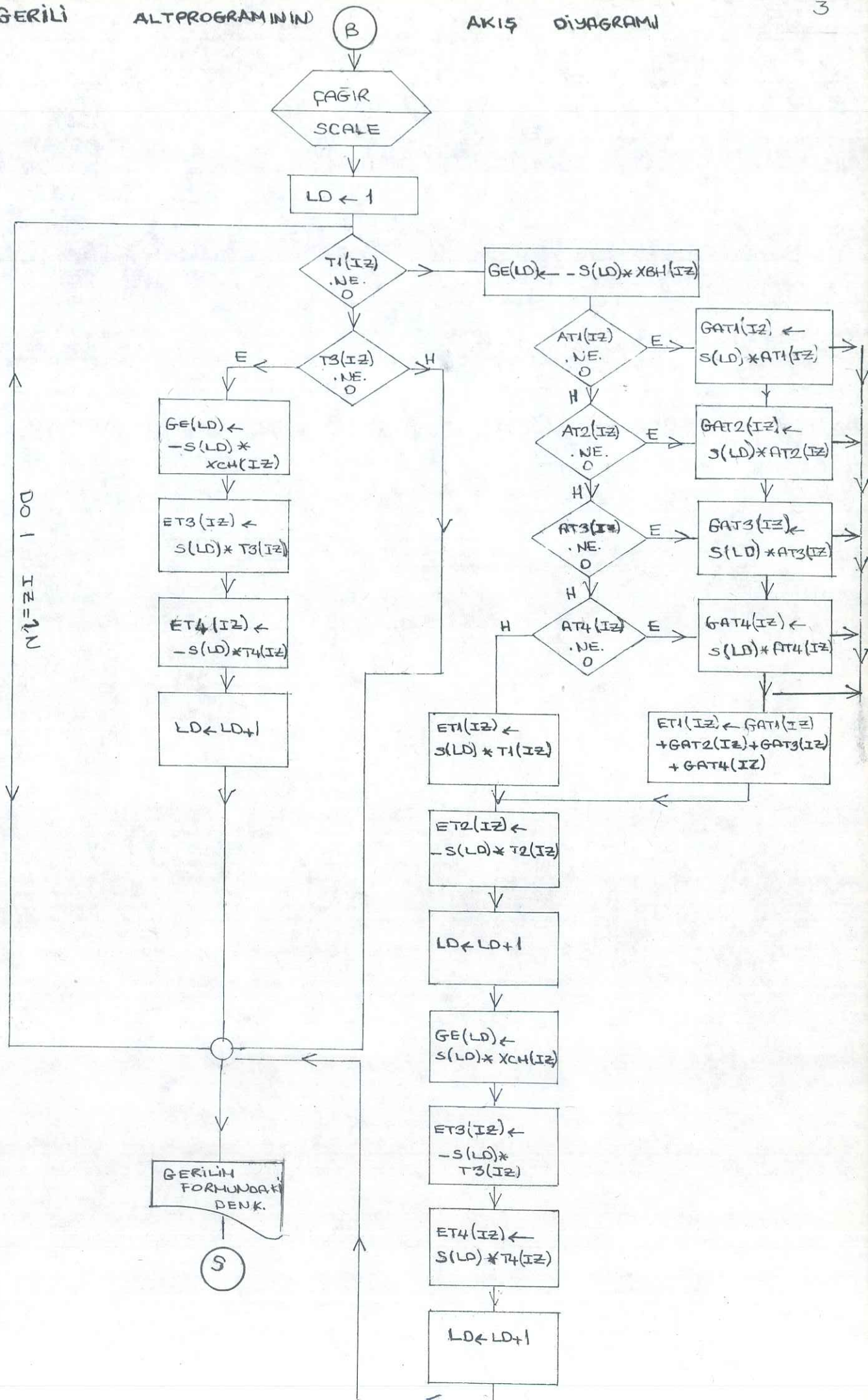
TZ: Hareketin başlama zamanını verir.

DELTA: RUNGE-KUTTA metodundaki zaman aralığını verir.

EPSILO: MİLNE metodu kullanılır. İstenildiği kadar ufak bir ϵ sayıdır.

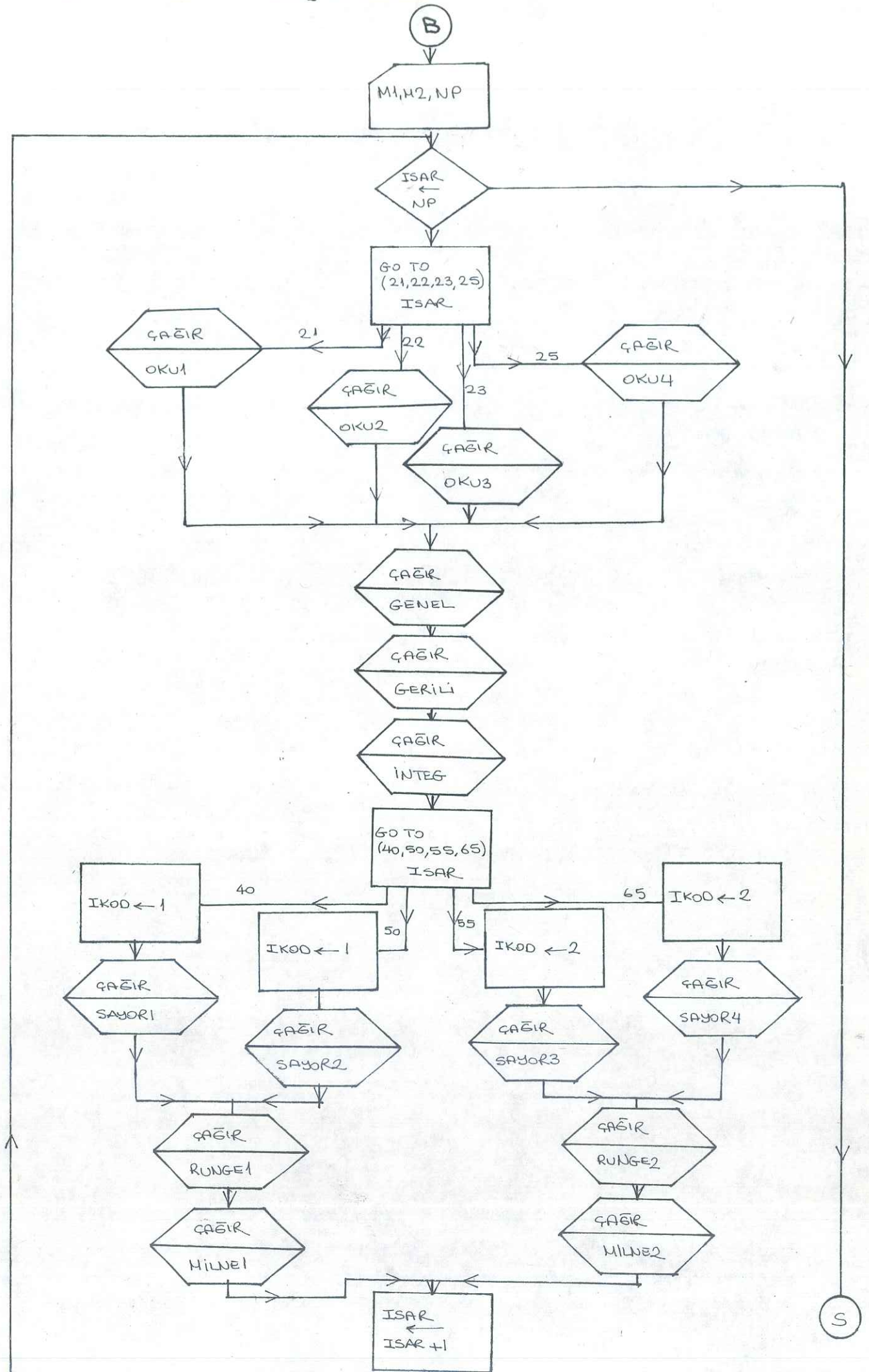
4.4. IKIş BİLGİLERİNİN DÜZENİ

ıkış bilgileri programda açık olarak verildiğinden burada tekrarlanmayacaktır.

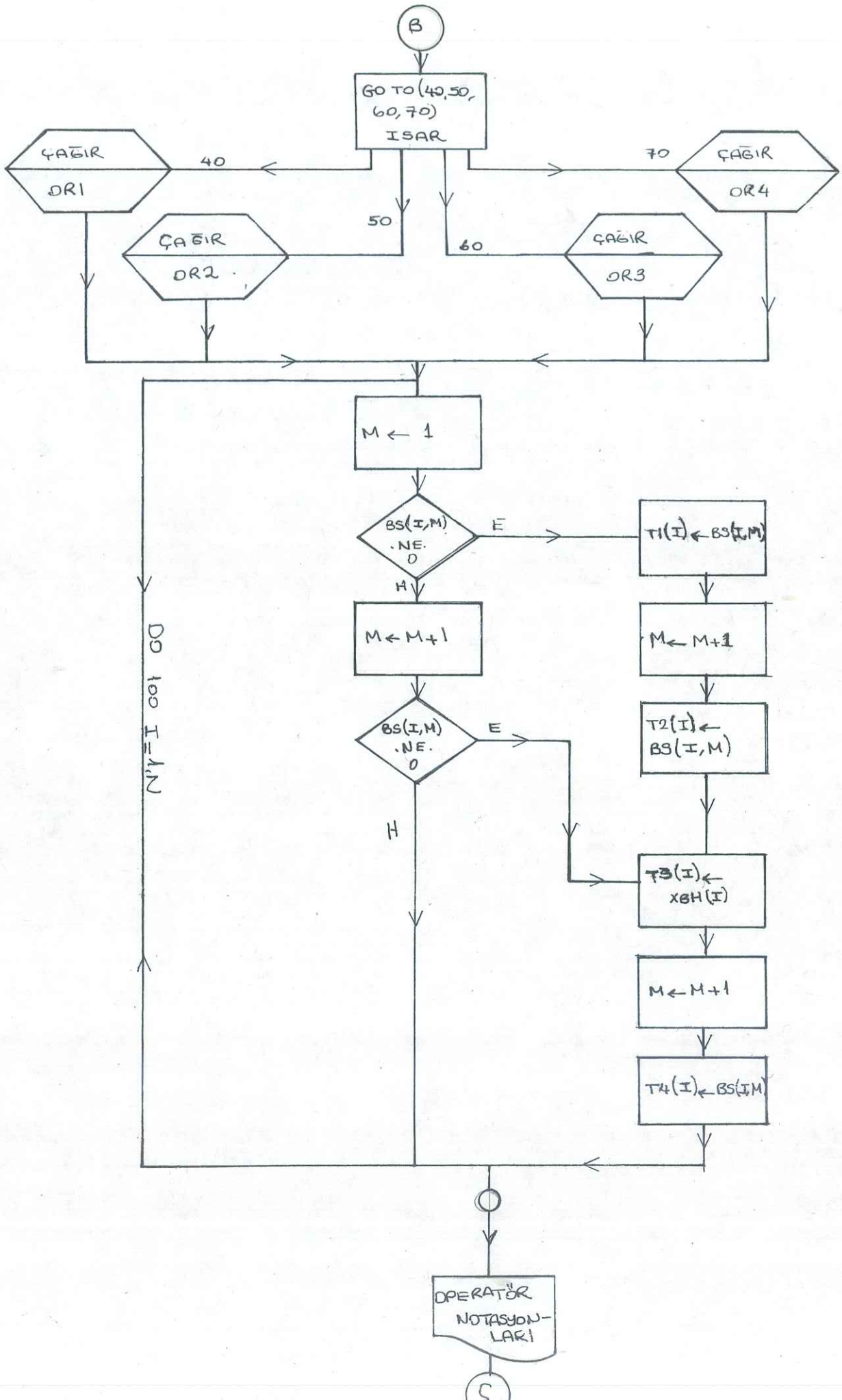


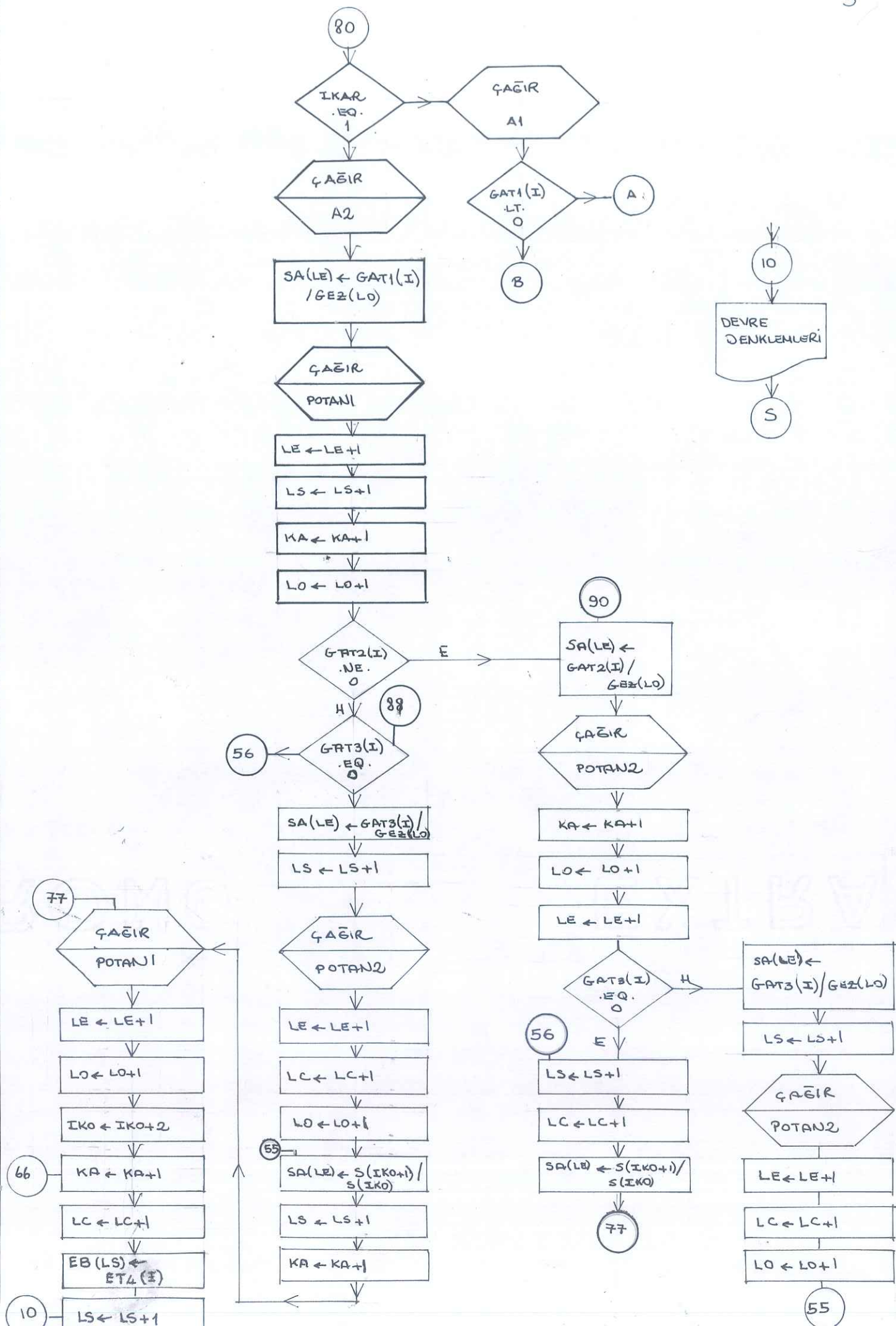
ANA PROGRAMIN AKIŞ DİYAGRAMI

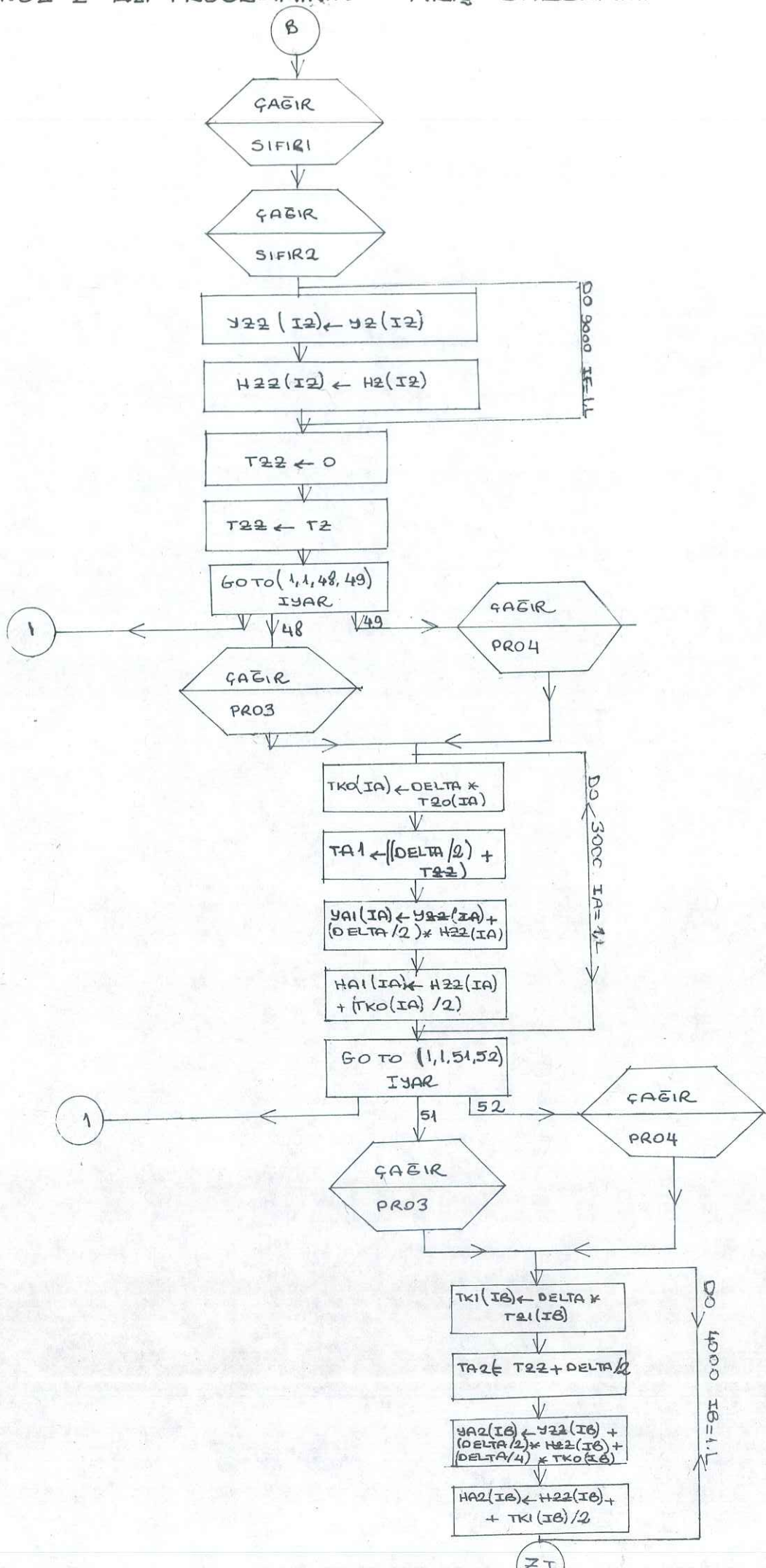
1

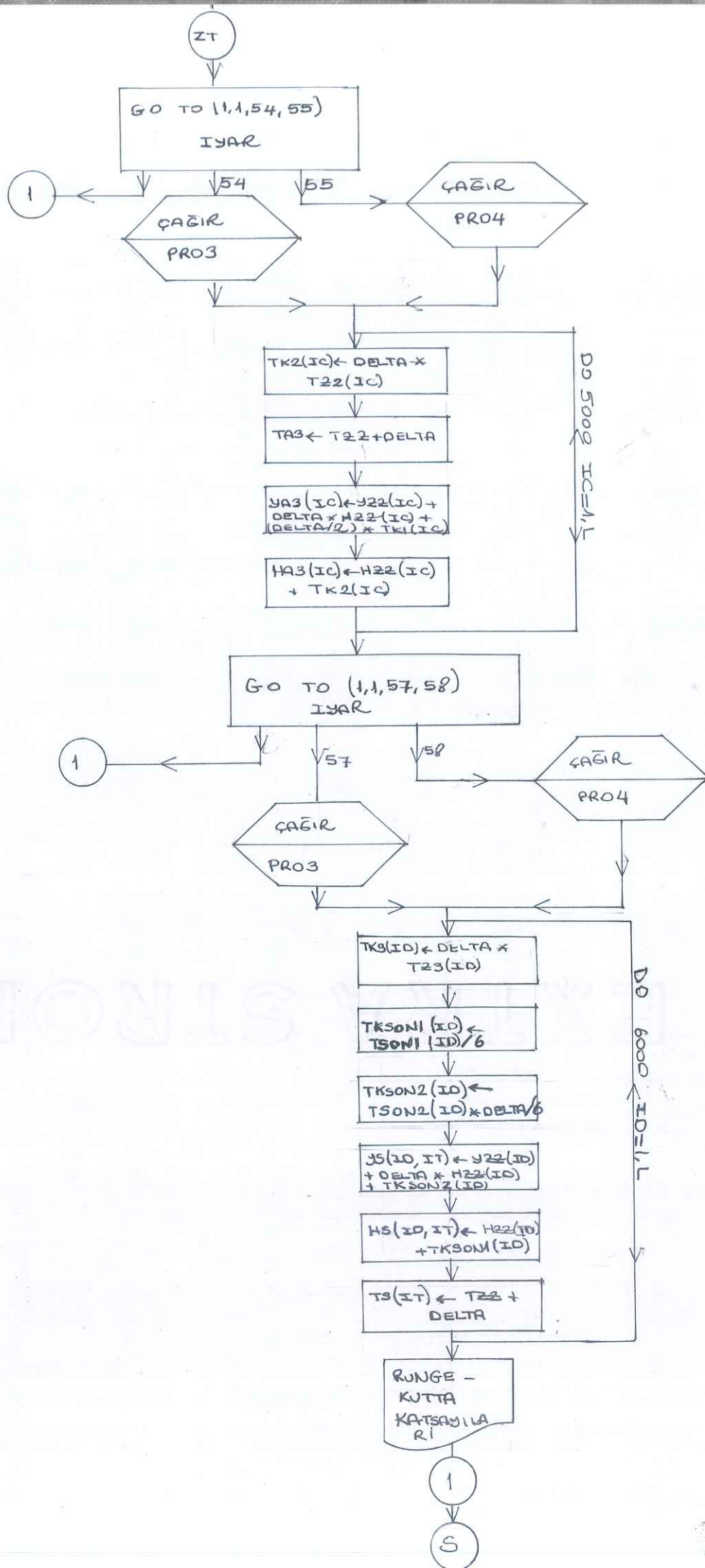


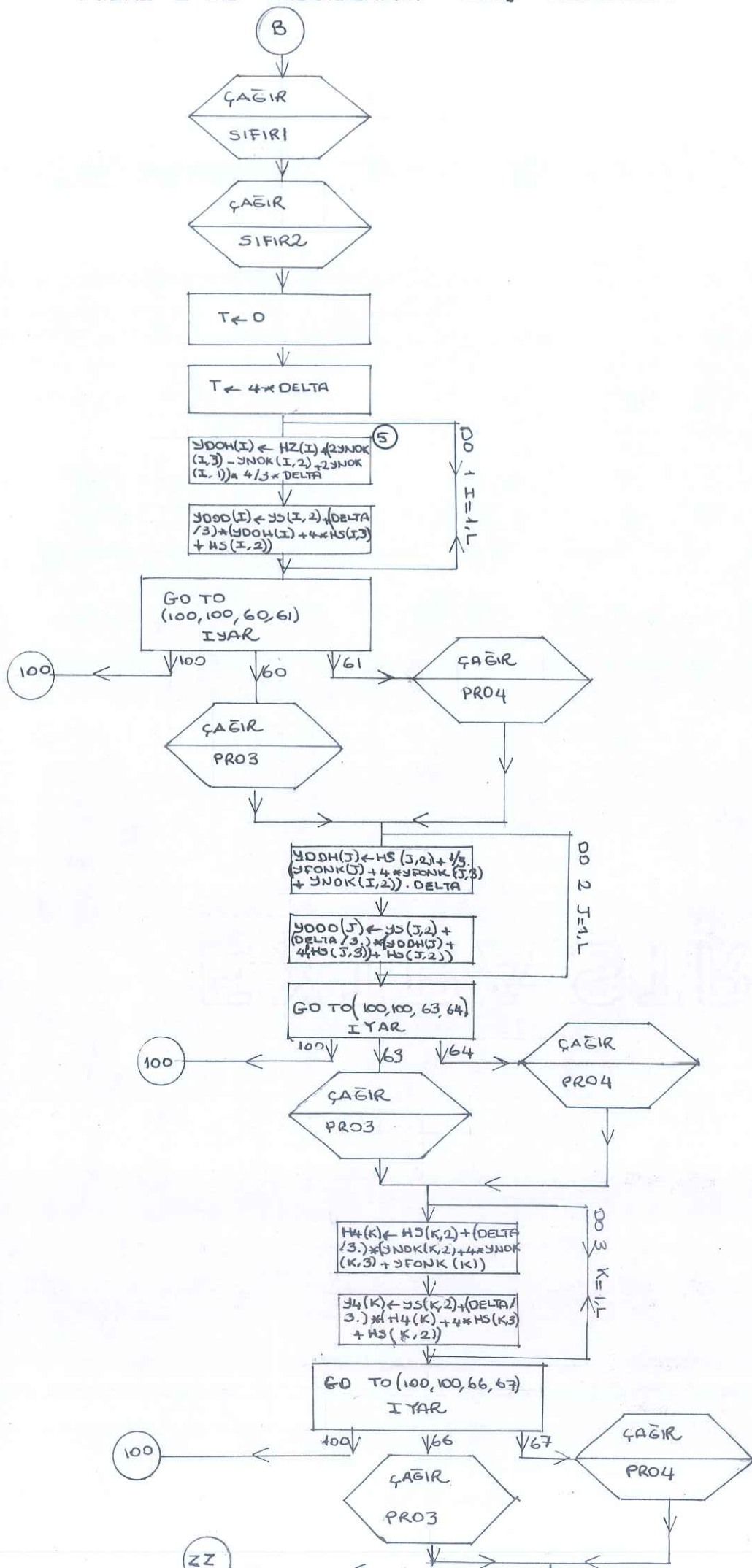
GENEL ALTPROGRAMININ AKIŞ DİYAGRAMI













YARARLANILAN KAYNAKLAR

1) ANALOG and DIGITAL COMPUTER METHODS
in engineering analysis

M.L. JAMES

G.M. SMITH

J.C. WOLFORD

international text book company

Scranton, Pennsylvania

2) Depreme karşı yapı mukabilesinin hesabı

Prof. Dr. Muzaffer İpek

I.T.Ü. Elektronik Hesap

Merkezi

İnşaat mühendisleri odası yayınları (Teknik broşür)

3) The numerical treatment of differentiation equations

L. Collatz

Springer-verlag Berlin Heidelberg New York

4) Numerical methods in fortran

John M. Mc Cormick and

Mario Salvadori

Prentice-hall of India

5) Numerical methods in engineering second edition

Mario G. Salvadori and

Melvin L. Baron

Prentice-hall of India

6) Üniversite fizigi Bölüm 1.

Çeviren: Prof. Dr. Ali Sümer

I.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu

7) Rijit Cisim Dinamiği

Erdoğan S. Şuhubi

8) Mechanical vibrations

Francis S. Tse

Ivan E. Morse

Roland T. Hinkle

Prentice-hall of India

9) Theory and problem of Mechanical vibrations

by William W. Seto

```

*****
Z1  FORTRAN  A
*****
COMMON /A/ BS(3,3) Z1 00010
COMMON /AA/ T1(3),T2(3),T3(3),T4(3),T5 Z1 00020
COMMON /BB/ XBH(3),XCH(3) Z1 00030
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM Z1 00040
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),FT4(3),FT5,FT6,GF(50) Z1 00050
COMMON /EE/ EG(10),EB(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500) Z1 00060
C1,AC(3) Z1 00070
COMMON /FF/ SAB Z1 00080
COMMON /GR/ H,RA Z1 00090
COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,C7 Z1 00100
COMMON /GR/ GAT1(3),GAT2(3),GAT3(3),GAT4(3) Z1 00110
COMMON /HH/ TK0(3),TK1(3),TK2(3),TK3(3),TKSON1(3),TKSON2(3),TSO1( Z1 00120
C3),TSO2(3) Z1 00130
COMMON /DE/ DELTA,EPSILO,YV,HYCK Z1 00140
COMMON /ZZ/ YS(3,9),TS(9),YNOK(3,9),HS(3,9),YESAS(3,9),HESAS(3,9), Z1 00150
CHATA(3,9),HATA2(3,9),HAT(3),HAT2(3),YFS(3),HFS(3) Z1 00160
COMMON /SB/ VO,SINA,COSA,VSIN,VCOS Z1 00170
COMMON /ZAMAN/ HZ(3),YZ(3),TZ,TMAX Z1 00180
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7 Z1 00190
COMMON /IK/ IKAR Z1 00200
COMMON /SC/ COS1,COS2,COS3,SIN1,SIN2,SIN3 Z1 00210
COMMON /NAM/ N,M Z1 00220
DIMENSION TZ0(3),TZ1(3),TZ2(3),TZ3(3),YA1(3),YA2(3),YA3(3),HA1(3), Z1 00230
CHA2(3),HA3(3) Z1 00240
DIMENSION YDDD(3),YDDD(3),YFONK(3),YDHH(3),YDDH(3),Y4(3),H4(3) Z1 00250
DIMENSION YZ2(3),H72(3) Z1 00260
DATA SAB1,SAB2,SAB3,SAB4 /0.001,10,0.1,0.01/ Z1 00270
ISAR=1 Z1 00280
READ(5,1) M1,M2,NP Z1 00290
1 FORMAT(3I3) Z1 00300
4 IF (ISAR.EQ. NP) GO TO 90 Z1 00310
WRITE(6,100) ISAR Z1 00320
100 FORMAT(42X,I2,' P R O B L E M I N S O N U C L A R I ',// Z1 00330
C,42X,47(' '),/42X,47(' '),//) Z1 00340
GO TO (21,22,23,25) ISAR Z1 00350
21 CALL OKU1(L) Z1 00360
GO TO 24 Z1 00370
22 CALL OKU2(L) Z1 00380
GO TO 24 Z1 00390
23 CALL OKU3(L) Z1 00400
GO TO 24 Z1 00410
25 CALL OKU4(L) Z1 00420
24 CALL GENFL (ISAR) Z1 00430
CALL GFRIL1 (ISAR) Z1 00440
CALL INTFG(M1,M2,ISAR) Z1 00450
GO TO (40,50,55,65) ISAR Z1 00460
40 IKDD=1 Z1 00470
CALL SAYOR1(IYAR,ISAR) Z1 00480
GO TO 199 Z1 00490
50 IKDD=1 Z1 00500
CALL SAYOR2(IYAR,ISAR) Z1 00510
GO TO 199 Z1 00520
55 IKDD=2 Z1 00530
CALL SAYOR3(IYAR,ISAR) Z1 00540
GO TO 199 Z1 00550
65 IKDD=2 Z1 00560
CALL SAYOR4(IYAR,ISAR) Z1 00570
GO TO 199 Z1 00580
PROBLEMLERIN SAYISAL COZUMLERININ M I L N E METEDU ILE Z1 00590
COZUMU Z1 00600
199 WRITE(6,30) ISAR Z1 00610
30 FORMAT(9X,I3,' P R O B L E M I N S A Y I S A L C O Z U M U ') Z1 00620
IF (IKDD.EQ. 1) GO TO 70 Z1 00630
GO TO 80 Z1 00640
70 WRITE(6,31) Z1 00650
31 FORMAT('1. DERICE DIFFRANSİYEL DENKLEMDF R U N G E -K U T T E M E T Z1 00660
CDU ILE BASLANGIC DEGERLERININ BULUNUSU') Z1 00670
CALL RUNGE1 (ISAR,IYAR,L) Z1 00680
WRITE(6,32) Z1 00690
32 FORMAT('1. DERICE DIFFRANSİYEL DENKLEMIN COZUMUNUN M I L N E M E T Z1 00700
CDU ILE BULUNUSU') Z1 00710
CALL MILNF1 (ISAR,IYAR,L) Z1 00720
GO TO 110 Z1 00730
80 WRITE(6,33) Z1 00740
33 FORMAT('2. DERICE DIFFRANSİYEL DENKLEMDF R U N G E -K U T T E M E T Z1 00750
CDU ILE BASLANGIC DEGERLERININ BULUNUSU') Z1 00760
CALL RUNGE2 (ISAR,IYAR,L) Z1 00770
WRITE(6,34) Z1 00780
34 FORMAT('2. DERICE DIFFRANSİYEL DENKLEMIN COZUMUNUN M I L N E M E T Z1 00790
C ILE BULUNUSU') Z1 00800
CALL MILNF2 (ISAR,IYAR,L) Z1 00810
110 ISAR=ISAR+1 Z1 00820
GO TO 4 Z1 00830
90 STOP Z1 00840
END Z1 00850
SUBROUTINE OKU1(L) Z1 00860
COMMON /NAM/ N,M Z1 00870
COMMON /A/ BS(3,3) Z1 00880
READ(5,1) N,M,L Z1 00890
1 FORMAT(3I3) Z1 00900

```



```

      READ(5,2)((RS(I,J),J=1,M),I=1,N)
2  FORMAT(15F5.2)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE OKU2(L)
      COMMON /DR/ H,RA
      COMMON /A/ RS(3,3)
      COMMON /NAM/ N,M
      READ(5,1) N,M,L
1  FORMAT(3I3)
      READ(5,2)((RS(I,J),J=1,M),I=1,N)
2  FORMAT(15F5.2)
      READ(5,3) H
3  FORMAT(F5.0)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE OKU3(L)
      COMMON /A/ RS(3,3)
      COMMON /NAM/ N,M
      COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
      READ(5,1) N,M,L
1  FORMAT(3I3)
      READ(5,2)((RS(I,J),J=1,M),I=1,N)
2  FORMAT(15F5.2)
      READ(5,3) OM1,HA,A,SZ,CZ
3  FORMAT(5F5.0)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE OKU4(L)
      COMMON /A/ RS(3,3)
      COMMON /NAM/ N,M
      COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
      READ(5,1) N,M,L
1  FORMAT(3I3)
      READ(5,2)((RS(I,J),J=1,M),I=1,N)
2  FORMAT(15F5.2)
      READ(5,3) OM1,OM2,HA,SZ
3  FORMAT(4F5.1)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE OR1
      COMMON /A/ RS(3,3)
      COMMON /NAM/ N,M
      COMMON /BB/ XBH(3),XCH(3)
      COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
      COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
      DATA SM /0./
      CALL SIFIR2(3,XBH)
      CALL SIFIR2(3,XCH)
      CALL SIFIR2(3,AT1)
      CALL SIFIR2(3,AT2)
      CALL SIFIR2(3,AT3)
      CALL SIFIR2(3,AT4)
      NN=2
      MM=2
      XBH(NN)=RS(NN,MM)
      AYCK=2*YCK
      AL=XBH(NN)*XBH(NN)
      XCH(MM)=(AL/AYCK)
      XCH(3)=0
      XBH(3)=0
100  WRITE(6,100) (XBH(L),L=1,3),(XCH(M),M=1,3)
      FORMAT(6F8.2)
      ZM=SM
      RETURN
      END
      SUBROUTINE OR2
      COMMON /NAM/ N,M
      COMMON /A/ RS(3,3)
      COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
      COMMON /BB/ XBH(3),XCH(3)
      COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
      COMMON /DR/ H,RA
      DATA BT,SM /303.,0./
      CALL SIFIR2(3,XBH)
      CALL SIFIR2(3,AT1)
      CALL SIFIR2(3,AT2)
      CALL SIFIR2(3,AT3)
      CALL SIFIR2(3,AT4)
      CALL SIFIR2(3,XCH)
      II=1
      JJ=2
      XBH(II)=RS(II,JJ)
      XBH(JJ)=BT
      TGO=(RS(II,JJ)/RS(JJ,JJ))
      ZM=H*TGO
      XCH(II)=ZM
      XCH(JJ)=H
      RA=ZM
      WRITE(6,2) (XBH(K),K=1,2),(XCH(K),K=1,2)

```

```

Z1 00910
Z1 00920
Z1 00930
Z1 00940
Z1 00950
Z1 00960
Z1 00970
Z1 00980
Z1 00990
Z1 01000
Z1 01010
Z1 01020
Z1 01030
Z1 01040
Z1 01050
Z1 01060
Z1 01070
Z1 01080
Z1 01090
Z1 01100
Z1 01110
Z1 01120
Z1 01130
Z1 01140
Z1 01150
Z1 01160
Z1 01170
Z1 01180
Z1 01190
Z1 01200
Z1 01210
Z1 01220
Z1 01230
Z1 01240
Z1 01250
Z1 01260
Z1 01270
Z1 01280
Z1 01290
Z1 01300
Z1 01310
Z1 01320
Z1 01330
Z1 01340
Z1 01350
Z1 01360
Z1 01370
Z1 01380
Z1 01390
Z1 01400
Z1 01410
Z1 01420
Z1 01430
Z1 01440
Z1 01450
Z1 01460
Z1 01470
Z1 01480
Z1 01490
Z1 01500
Z1 01510
Z1 01520
Z1 01530
Z1 01540
Z1 01550
Z1 01560
Z1 01570
Z1 01580
Z1 01590
Z1 01600
Z1 01610
Z1 01620
Z1 01630
Z1 01640
Z1 01650
Z1 01660
Z1 01670
Z1 01680
Z1 01690
Z1 01700
Z1 01710
Z1 01720
Z1 01730
Z1 01740
Z1 01750
Z1 01760
Z1 01770
Z1 01780
Z1 01790
Z1 01800

```

```

2 FORMAT (4F10.2)
RETURN
END
SUBROUTINE OR3
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /NAM/N,M
COMMON /RB/ XBH(1),XCH(3)
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /IK/ IKAR
DATA SM /0./
IKAR=1
CALL SIFIR2(3,XBH)
CALL SIFIR2(3,XCH)
CALL SIFIR2(3,AT1)
CALL SIFIR2(3,AT2)
CALL SIFIR2(3,AT3)
CALL SIFIR2(3,AT4)
P2=(A/OM1)
P=(SQRT(P2))
P3=C7/OM1
P4=P3/2
AYCK=2*YCK
V1=SQRT(AYCK*HA)
MV=(OM1*V1)
OMK=(YCK/P2)
IS=1
JS=2
RS(IS,JS)=V1
XBH(IS)=RS(IS,JS)
XCH(IS)=(S2*OMK)
AT1(IS)=(YCK)
AT2(IS)=-(P3*XBH(IS))
AT3(IS)=-(P2*XCH(IS))
BS(IS,IS)=AT1(IS)+AT2(IS)+AT3(IS)
WRITE(6,108) (XBH(IS)),(XCH(IS))
108 FORMAT('MAKSIMUM HIZ',F5.2,5X,'MAKSIMUM YER DEGISTIRME',F5.2)
ZM=SM
RETURN
END
SUBROUTINE OR4
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /BB/ XBH(3),XCH(3)
COMMON /NAM/N,M
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /IK/ IKAR
OM1=12
IKAR=2
CALL SIFIR2(3,AT1)
CALL SIFIR2(3,AT2)
CALL SIFIR2(3,AT3)
CALL SIFIR2(3,AT4)
CALL SIFIR2(3,XBH)
CALL SIFIR2(3,XCH)
DFL1=(OM1/(3.*HA))
XCH(1)=2*DFL1
DFL2=DFL1+(OM1/HA)
XCH(2)=2*DFL2
DFL3=DFL2+(OM1/HA)
XCH(3)=2*DFL3
P=SQRT(HA/OM2)
XBH(1)=XCH(1)*P
XBH(2)=XCH(2)*P
XBH(3)=XCH(3)*P
P4=P**2
P5=(HA/(4.*OM2))
IS=1
AT1(IS)=-P4*XCH(IS)
AT2(IS)=P5*XCH(IS+1)
RS(IS,IS)=AT1(IS)+AT2(IS)
P2=(HA/(2.*OM2))
IS=IS+1
AT1(IS)=P2*XCH(IS-1)
AT2(IS)=-P4*XCH(IS)
AT3(IS)=P2*XCH(IS+1)
BS(IS,IS-1)=AT1(IS)+AT2(IS)+AT3(IS)
PA=(OM1/OM2)
IS=IS+1
AT4(IS)=PA
AT2(IS)=P4*XCH(IS-1)
AT3(IS)=-P4*XCH(IS)
RS(IS,IS-2)=AT4(IS)+AT2(IS)+AT3(IS)
WRITE(6,4) (XBH(LL),LL=1,3),(XCH(LL),LL=1,3)
4 FORMAT('MAXIMUM HIZLAR',3F10.4,/, 'MAXIMUM YER DEGISTIRMELER',3F10.4)
CO.4)
DO 5 IS=1,3
5 CONTINUE

```

```

Z1 01810
Z1 01820
Z1 01830
Z1 01840
Z1 01850
Z1 01860
Z1 01870
Z1 01880
Z1 01890
Z1 01900
Z1 01910
Z1 01920
Z1 01930
Z1 01940
Z1 01950
Z1 01960
Z1 01970
Z1 01980
Z1 01990
Z1 02000
Z1 02010
Z1 02020
Z1 02030
Z1 02040
Z1 02050
Z1 02060
Z1 02070
Z1 02080
Z1 02090
Z1 02100
Z1 02110
Z1 02120
Z1 02130
Z1 02140
Z1 02150
Z1 02160
Z1 02170
Z1 02180
Z1 02190
Z1 02200
Z1 02210
Z1 02220
Z1 02230
Z1 02240
Z1 02250
Z1 02260
Z1 02270
Z1 02280
Z1 02290
Z1 02300
Z1 02310
Z1 02320
Z1 02330
Z1 02340
Z1 02350
Z1 02360
Z1 02370
Z1 02380
Z1 02390
Z1 02400
Z1 02410
Z1 02420
Z1 02430
Z1 02440
Z1 02450
Z1 02460
Z1 02470
Z1 02480
Z1 02490
Z1 02500
Z1 02510
Z1 02520
Z1 02530
Z1 02540
Z1 02550
Z1 02560
Z1 02570
Z1 02580
Z1 02590
Z1 02600
Z1 02610
Z1 02620
Z1 02630
Z1 02640
Z1 02650
Z1 02660
Z1 02670
Z1 02680
Z1 02690
Z1 02700

```

```

RETURN
END
BLOCK DATA
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /FF/ SAB
DATA YCK,SAB / 9.8 ,100./
END
SUBROUTINE SCALF(1SAR)
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /AA/ T1(3),T2(3),T3(3),T4(3),T5
COMMON /NAM/N,M
COMMON /BB/ XBH(3),XCH(3)
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),FT4(3),FT5,ET6,GE(50),GEZ(50)
COMMON /FF/ SAB
L=1
DO 1 I=1,N
M=1
IF(RS(I,M).EQ.0) GO TO 2
S(L)=(SAB/XBH(I))
L=L+1
2 M=M+1
IF(XBH(I).EQ.0) GO TO 1
S(L)=(SAB/XCH(I))
L=L+1
1 CONTINUE
IF(ZM.EQ.0) GO TO 6
S(L)=(SAB/ZM)
GO TO 7
6 L=L-1
7 WRITE(6,100)
100 FORMAT(52X,'OLIGUM CARPANLARI')
WRITE(6,99) (S(K),K=1,L)
99 FORMAT (40X,F10.4)
RETURN
END
SUBROUTINE A2
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),FT4(3),FT5,ET6,GE(50),GEZ(50)
COMMON /EE/FG(10),FB(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500),
CAC(20)
LN=1
GFZ(LN)=-GE(LN+1)
LN=LN+1
GFZ(LN)=GF(LN+2)
LN=LN+2
GFZ(LN)=GF(LN-2)
LN=LN+1
GFZ(LN)=-GF(LN-1)
LN=LN+1
GFZ(LN)=GF(LN)
LN=LN+2
GEZ(LN)=GF(LN-4)
LN=LN+1
GFZ(LN)=-GE(LN-3)
RETURN
END
SUBROUTINE A1
COMMON /EE/FG(10),FB(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500),
CAC(20)
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),FT4(3),FT5,ET6,GE(50),GEZ(50)
LN=1
GFZ(LN)=GF(LN)
LN=LN+1
GFZ(LN)=-GF(LN)
RETURN
END
SUBROUTINE SIFIR1(YA,YB,A)
DIMENSION ROS1(10,10),A(10,10)
DATA ROS1 /100*0./
DO 1 I=1,YA
DO 2 J=1,YB
A(I,J)=ROS1(I,J)
2 CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE SIFIR2(NB,B)
COMMON /NAM/N,M
DIMENSION ROS2(500),B(500)
DATA ROS2 /500*0./
DO 1 I=1,NB
B(I)=ROS2(I)
1 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE POTANI(M1,M2,K,LC,KA,LF)
COMMON /NAM/N,M
COMMON /EE/ FG(10),FB(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500)
C),AC(10)
SAB1=0.001
SAB2=10

```

Z1 02710
Z1 02720
Z1 02730
Z1 02740
Z1 02750
Z1 02760
Z1 02770
Z1 02780
Z1 02790
Z1 02800
Z1 02810
Z1 02820
Z1 02830
Z1 02840
Z1 02850
Z1 02860
Z1 02870
Z1 02880
Z1 02890
Z1 02900
Z1 02910
Z1 02920
Z1 02930
Z1 02940
Z1 02950
Z1 02960
Z1 02970
Z1 02980
Z1 02990
Z1 03000
Z1 03010
Z1 03020
Z1 03030
Z1 03040
Z1 03050
Z1 03060
Z1 03070
Z1 03080
Z1 03090
Z1 03100
Z1 03110
Z1 03120
Z1 03130
Z1 03140
Z1 03150
Z1 03160
Z1 03170
Z1 03180
Z1 03190
Z1 03200
Z1 03210
Z1 03220
Z1 03230
Z1 03240
Z1 03250
Z1 03260
Z1 03270
Z1 03280
Z1 03290
Z1 03300
Z1 03310
Z1 03320
Z1 03330
Z1 03340
Z1 03350
Z1 03360
Z1 03370
Z1 03380
Z1 03390
Z1 03400
Z1 03410
Z1 03420
Z1 03430
Z1 03440
Z1 03450
Z1 03460
Z1 03470
Z1 03480
Z1 03490
Z1 03500
Z1 03510
Z1 03520
Z1 03530
Z1 03540
Z1 03550
Z1 03560
Z1 03570
Z1 03580
Z1 03590
Z1 03600


```
SAB3=0.1
SAB4=0.02
CALL SIFIR2(500,AR)
CALL SIFIR2(10,AC)
DO 100 KZ=1,M1
AR(KZ)=(SAB3+SAB4)
R(K)=AR(KZ)
DO 99 KB=1,M2
AC(KB)=(SAB1*SAB2)
C(LC)=AC(KB)
RC(K)=(R(K)*C(LC))
AK(KA)=(SA(LF)*RC(K))
IF(AK(KA).LT.0) GO TO 98
IF(AK(KA).LE.1 .AND. AK(KA).GT. .9) GO TO 1
98 SAB1=AC(KB)
99 CONTINUE
SAB3=AR(K7)
SAB1=0.001
100 CONTINUE
1 RETURN
END
SUBROUTINE POTAN2(M1,K,LC,KA,LF)
COMMON /NAM/N,M
COMMON /GF/ EG(10),FB(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500)
C,AC(3)
SAB3=0.1
SAB4=0.02
CALL SIFIR2(500,AR)
DO 100 JZ=1,M1
AR(JZ)=SAB3+SAB4
R(K)=AR(JZ)
RC(K)=(R(K)*C(LC))
AK(KA)=(SA(LF)*RC(K))
IF(AK(KA).LT.0) GO TO 98
IF(AK(KA).LE.1 .AND. AK(KA).GT. .9) GO TO 1
98 SAB3=AR(JZ)
100 CONTINUE
1 RETURN
END
SUBROUTINE PROJ(YAR,T)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /DE/ DELTA,EPSILO,YV,HYCK
DIMENSION YAR(3)
CALL SIFIR1(3,YAR)
HYCK=BS(2,1)
YAR(1)=YV+HYCK*T
RETURN
END
SUBROUTINE PROJA(L,IK)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /DE/ DELTA,EPSILO,YV,HYCK
COMMON /ZZ/ YS(3,9),TS(9),YNOK(3,9),HS(3,9),YESAS(3,9),HESAS(3,9),
CHATA(3,9),HATA2(3,9),HAT(3),HAT2(3),YFS(3),HES(3)
CALL SIFIR1(3,3,YFSAS)
HYCK=BS(2,1)
YESAS(L,IK)=YV*TS(IK)+(1/2.*HYCK*TS(IK)**2)
RETURN
END
SUBROUTINE PROJ2(YFONK,T)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /SB/ VO,SINA,COSA,VSIN,VCOS
DIMENSION YFONK(3)
CALL SIFIR1(3,YFONK)
YFONK(1)=(VSIN-YCK*T)
RETURN
END
SUBROUTINE PROJ2A(L,IK)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /SB/ VO,SINA,COSA,VSIN,VCOS
COMMON /ZZ/ YS(3,9),TS(9),YNOK(3,9),HS(3,9),YESAS(3,9),HESAS(3,9),
CHATA(3,9),HATA2(3,9),HAT(3),HAT2(3),YFS(3),HES(3)
CALL SIFIR1(3,3,YFSAS)
YESAS(L,IK)=(VSIN*TS(IK)-(1/2.*YCK*TS(IK)**2))
RETURN
END
SUBROUTINE PROJ3(YFONK,HR,YR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
DIMENSION YFONK(3),HB(3),YB(3)
CALL SIFIR1(3,YFONK)
YFONK(1)=(-P3*HR(1)-P2*YB(1)+AT1(1))
RETURN
END
SUBROUTINE PROJ3A(L,IK)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
```

Z1 03610
Z1 03620
Z1 03630
Z1 03640
Z1 03650
Z1 03660
Z1 03670
Z1 03680
Z1 03690
Z1 03700
Z1 03710
Z1 03720
Z1 03730
Z1 03740
Z1 03750
Z1 03760
Z1 03770
Z1 03780
Z1 03790
Z1 03800
Z1 03810
Z1 03820
Z1 03830
Z1 03840
Z1 03850
Z1 03860
Z1 03870
Z1 03880
Z1 03890
Z1 03900
Z1 03910
Z1 03920
Z1 03930
Z1 03940
Z1 03950
Z1 03960
Z1 03970
Z1 03980
Z1 03990
Z1 04000
Z1 04010
Z1 04020
Z1 04030
Z1 04040
Z1 04050
Z1 04060
Z1 04070
Z1 04080
Z1 04090
Z1 04100
Z1 04110
Z1 04120
Z1 04130
Z1 04140
Z1 04150
Z1 04160
Z1 04170
Z1 04180
Z1 04190
Z1 04200
Z1 04210
Z1 04220
Z1 04230
Z1 04240
Z1 04250
Z1 04260
Z1 04270
Z1 04280
Z1 04290
Z1 04300
Z1 04310
Z1 04320
Z1 04330
Z1 04340
Z1 04350
Z1 04360
Z1 04370
Z1 04380
Z1 04390
Z1 04400
Z1 04410
Z1 04420
Z1 04430
Z1 04440
Z1 04450
Z1 04460
Z1 04470
Z1 04480
Z1 04490
Z1 04500


```

COMMON /GG/ AT1(3), AT2(3), AT3(3), AT4(3), OM1, OM2, HA, A, SZ, CZ
COMMON /RR/ XRH(3), XCH(3)
COMMON /ZZ/ YS(3,9), YS(9), YNOK(3,9), HS(3,9), YESAS(3,9), HESAS(3,9),
CHATA(3,9), HATA(3,9), HAT(3), HAT2(3), YFS(3), HES(3)
CALL SIFIR1(3,3,YFSAS)
CALL SIFIR1(3,3,HFSAS)
P5=SQRTP(P4**2-P2)
P7=-(P4+P5)
PA=-P7
P6=(XBH(1)/PA)
YFSAS(L,1K)=P6*(1-FXP(P7*TS(1K)))
HESAS(L,1K)=-P7*P6*(FXP(P7*TS(1K)))
RETURN
END
SUBROUTINE PR04(YFONA,HR)
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /PP/ P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /GG/ AT1(3), AT2(3), AT3(3), AT4(3), OM1, OM2, HA, A, SZ, CZ
DIMENSION YFONA(3), HR(3)
CALL SIFIR1(3,YFONA)
YFONA(1)=-P4*HR(1)+P5*HR(2)
YFONA(2)=P2*HR(1)-P4*HR(2)+P2*HR(3)
YFONA(3)=AT4(3)+P4*HR(2)-P4*HR(3)
RETURN
END
SUBROUTINE SAYOR1(IYAR,ISAR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
COMMON /CC/ S(50), YCK, ZM
COMMON /ZAMAN/ HZ(3), YZ(3), TZ, TMAX
READ(5,1) TMAX, TZ, DELTA, EPSILO
1 FORMAT(F5.2, F6.3, F6.4)
IYAR=ISAR
AYCK=(2*BS(2,1))
HYCK=BS(2,1)
YV=BS(2,2)
YZ(1)=BS(2,3)
YDFG=BS(2,2)
YY=(YDFG*YDFG)
YCIK=(-YY/AYCK)
RETURN
END
SUBROUTINE SAYOR2(IYAR,ISAR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /BB/ XBH(3), XCH(3)
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
COMMON /SB/ VO, SINA, COSA, VSIN, VCOS
COMMON /ZAMAN/ HZ(3), YZ(3), TZ, TMAX
READ(5,1) DELTA, TZ, EPSILO
1 FORMAT(2F5.2, F6.4)
IYAR=ISAR
YY=(BS(2,2)**2)
YX=(BS(1,2)**2)
YZ(1)=BS(2,3)
VO=SQRTP(YY+YX)
SINA=(BS(2,2)/VO)
VSIN=(VO*SINA)
COSA=(BS(1,2)/VO)
VCOS=(VO*COSA)
TMAX=(XCH(1)/VCOS)
END
SUBROUTINE SAYOR3(IYAR,ISAR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /ZAMAN/ HZ(3), YZ(3), TZ, TMAX
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
READ(5,1) DELTA, TZ, TMAX, EPSILO
1 FORMAT(3F5.3, F6.4)
IYAR=ISAR
HZ(1)=BS(1,2)
YZ(1)=BS(1,3)
RETURN
END
SUBROUTINE SAYOR4(IYAR,ISAR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
COMMON /ZAMAN/ YZ(3), HZ(3), TZ, TMAX
READ(5,1) DELTA, TZ, TMAX, EPSILO
1 FORMAT(3F5.3, F6.4)
IYAR=ISAR
HZ(1)=BS(1,2)
HZ(2)=BS(2,2)
HZ(3)=BS(3,2)
YZ(1)=BS(1,3)
YZ(2)=BS(2,3)
YZ(3)=BS(3,3)
RETURN
END

```

```

*****
GENEL      FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE GENEL( ISAR)
COMMON /A/  BS(3,1)
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /AA/  T1(3),T2(3),T3(3),T4(3),T5
COMMON /BB/  XRH(3),XCH(3)
COMMON /CC/  S(50),YCK,ZM
COMMON /DR/  H,RA
COMMON /GG/  AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
DIMENSION DUS2(3)
CALL SIFIR2(3,T1)
CALL SIFIR2(3,T2)
CALL SIFIR2(3,T3)
CALL SIFIR2(4,AT1)
CALL SIFIR2(4,AT2)
CALL SIFIR2(4,AT3)
CALL SIFIR2(4,AT4)
GO TO (40,50,60,70) ISAR
40 CALL OR1
GO TO 7
50 CALL OR2
GO TO 7
60 CALL OR3
GO TO 7
70 CALL OR4
DO 10 I=1,N
M=1
IF(BS(I,M) .NE. 0) GO TO 3
M=M+1
IF(BS(I,M) .NE.0) GO TO 4
GO TO 10
3 T1(I)=BS(I,M)
M=M+1
T2(I)=BS(I,M)
4 T3(I)=XBH(I)
M=M+1
T4(I)=BS(I,M)
10 CONTINUE
WRITE(6,100)
100 FORMAT(55X,'OPERATOR NOTASYONLARI',)
IF(AT1(1) .NE. 0) GO TO 200
DO 99 K=1,2
WRITE(6,98) (T1(K)),(T2(K))
98 FORMAT(25X,'H17=1/D((',F8.3,')+(',F8.3,')')')
WRITE(6,96) (T3(K)),(T4(K))
96 FORMAT(12X,'YER DEGISTIRME=1/D((',F8.3,')+(',F8.3,')')')
99 CONTINUE
GO TO 210
200 DO 333 IZ=1,N
WRITE(6,202) (AT1(IZ)),(AT2(IZ)),(AT3(IZ)),(AT4(IZ)),(T2(IZ))
202 FORMAT(25X,'H17=1/D((',F8.2,')+(',F8.2,')+(',F8.2,')+(',F8.2,')+(
C',F8.2,')')')
WRITE(6,203) (T3(IZ)),(T4(IZ))
203 FORMAT(12X,'YER DEGISTIRME=1/D((',F8.2,')+(',F8.2,')')',//)
333 CONTINUE
210 IF (ZM .EQ. 0) GO TO 6
T5=RA
WRITE(6,97) T5
97 FORMAT(50X,'L=',F8.3,'-X')
6 RETURN
END
*****
** RITI
**
*****
30/01/84
*****

```



```

*****
GERILI  FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE GERILI(ISAR)
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /AA/ T1(3),T2(3),T3(3),T4(3),T5
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /BB/ XRH(3),XCH(3)
COMMON /CC/ S(50),YCK,ZM
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),ET4(3),FT5,FT6,GF(50),GEZ(50)
COMMON /DR/ H,RA
COMMON /GG/ AT1(3),AT2(3),AT3(3),AT4(3),OM1,OM2,HA,A,SZ,CZ
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
COMMON /GR/ GAT1(3),GAT2(3),GAT3(3),GAT4(3)
DIMENSION BOS2(10)
CALL SFIR2(3,GF)
CALL SFIR2(3,FT1)
CALL SFIR2(3,FT2)
CALL SFIR2(3,FT3)
CALL SFIR2(3,FT4)
CALL SFIR2(3,GAT1)
CALL SFIR2(3,GAT2)
CALL SFIR2(3,GAT3)
CALL SFIR2(3,GAT4)
CALL SCALE (ISAR)
LD=1
DO 1 IZ=1,N
IF (T1(IZ).NE. 0 ) GO TO 3
IF (T3(IZ).NE. 0 ) GO TO 4
GO TO 1
3 GF(LD)=(-S(LD)*XRH(IZ))
IF (AT1(IZ).NE. 0 ) GO TO 7
IF (AT2(IZ).NE. 0 ) GO TO 12
IF (AT3(IZ).NE. 0 ) GO TO 13
FT1(IZ)=(S(LD)*T1(IZ))
9 FT2(IZ)=(-S(LD)*T2(IZ))
LD=LD+1
GF(LD)=(S(LD)*XCH(IZ))
ET3(IZ)=(-S(LD)*T3(IZ))
FT4(IZ)=(S(LD)*T4(IZ))
LD=LD+1
GO TO 1
7 GAT1(IZ)=(S(LD)*AT1(IZ))
IF (AT2(IZ).EQ.0) GO TO 11
12 GAT2(IZ)=(S(LD)*AT2(IZ))
11 IF (AT3(IZ).EQ. 0 ) GO TO 8
13 GAT3(IZ)=(S(LD)*AT3(IZ))
IF (AT4(IZ).EQ.0) GO TO 8
GAT4(IZ)=S(LD)*AT4(IZ)
8 ET1(IZ)=GAT1(IZ)+GAT2(IZ)+GAT3(IZ)+GAT4(IZ)
GO TO 9
4 GE(LD)=(-S(LD)*XCH(IZ))
ET3(IZ)=(S(LD)*T3(IZ))
FT4(IZ)=(-S(LD)*T4(IZ))
LD=LD+1
1 CONTINUE
IF (ZM.NE. 0 ) GO TO 5
LD=LD-1
GO TO 6
5 GF(LD)=(-S(LD)*ZM)
ET5= (S(LD)*RA)
FT6= (-S(LD)*ZM)
6 WRITE(6,100)
100 FORMAT(51X,'GERILI FORMUNDAKI DENKLEMLER')
C E R
WRITE(6,99) (GF(J),J=1,LD)
99 FORMAT(60Y,'F=',F8.2)
IF (GAT1(1).NE. 0 ) GO TO 80
DO 98 K=1,2
98 WRITE(6,97) (FT1(K),(FT2(K)),(ET3(K)),(FT4(K))
97 FORMAT (25X,'-1/D('',F8.2,'')+('',F8.2,'')/(25X,'-1/D('',F8.2,'')+('',F8.2,'')',F8.2)
C
GO TO 200
80 DO 333 J=1,N
WRITE(6,78) (GAT1(J),(GAT2(J)),(GAT3(J)),(GAT4(J)),(ET2(J))
78 FORMAT(25X,'-1/D('',F8.2,'')+('',F8.2,'')+('',F8.2,'')+('',F8.2,'')',
CF8.2,/)
WRITE(6,77) (ET3(J),(FT4(J))
77 FORMAT(25X,'-1/D('',F8.2,'')+('',F8.2,'')',/)
333 CONTINUE
200 RETURN
END
*****
** BITTI ** 30/01/84 **
*****

```

```

*****
INTEG  FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE INTG(M1,M2,ISAR)
COMMON /A/ BS(3,3)
COMMON /IK/ IKAR
COMMON /AA/ T1(3),T2(3),T3(3),T4(3),T5
COMMON /BB/ XPH(3),XCH(3)
COMMON /FF/ SAR
COMMON /CC/ S(50),YCK,7M
COMMON /DD/ FT1(3),FT2(3),FT3(3),FT4(3),FT5,FT6,GF(50),GF7(50)
COMMON /EE/ EG(10),FD(10),R(20),C(20),RC(20),AK(10),SA(10),AR(500),
CAC(20)
COMMON /NAM/ N,M
COMMON /GAT/ GAT1(3),GAT2(3),GAT3(3),GAT4(3)
COMMON /DR/ H,RA
COMMON /PP/ P,P2,P3,P4,P5,P6,P7
DIMENSION DMS2(50)
DATA RUS,RAL /10.,1./
SAB1=0.001
SAB2=10
SAB3=0.1
SAB4=0.02
CALL SFIR2(10,FG)
CALL SFIR2(10,FR)
CALL SFIR2(10,AK)
CALL SFIR2(500,AR)
CALL SFIR2(3,AC)
LS=1
KA=1
LD=1
LF=1
LC=1
LN=1
LK=1
DO 10 I=1,N
LI=1
IF(BS(I,LI).NE.0) GO TO 99
IF(BS(I,LI+1).NE.0) GO TO 98
GO TO 10
99 IF(GAT4(I).EQ.0) GO TO 97
IF(GAT4(I).LT.0) GO TO 14
R(LS)=RUS
GO TO 15
14 R(LS)=RAL
15 DO 300 JZ=1,M2
SAB1=0.001
AC(JZ)=(SAB1*SAB2)
C(LC)=AC(JZ)
RC(LS)=(R(LS)*C(LC))
EG(LD)=(GAT4(I)*RC(LS))
IF(EG(LD).GE.-100.AND.(FG(LD).LF.20) GO TO 299
IF(EG(LD).GT.20.AND.(EG(LD).LT.100) GO TO 17
299 SAB1=AC(JZ)
300 CONTINUE
17 SAB1=0.001
LS=LS+1
LD=LD+1
IF(GAT1(I).EQ.0) GO TO 3
SA(LF)=(GAT1(I)/GF7(LD))
CALL POTAN2(M1,LS,LC,KA,LF)
LS=LS+1
LF=LF+1
KA=KA+1
LN=LN+1
GO TO 3
97 IF(GAT1(I).NE.0) GO TO 80
IF(FT1(I).LT.0) GO TO 1
7 R(LS)=RUS
GO TO 2
1 R(LS)=RAL
2 DO 400 JV=1,M2
AC(JV)=(SAB1*SAB2)
C(LC)=AC(JV)
RC(LS)=(R(LS)*C(LC))
IF(GAT1(I).NE.0) GO TO 28
EG(LD)=(FT1(I)*RC(LS))
GO TO 29
28 EG(LD)=(GAT1(I)*RC(LS))
29 IF(EG(LD).GE.-100.AND.(EG(LD).LE.20) GO TO 399
IF(EG(LD).GT.20.AND.(EG(LD).LF.100) GO TO 27
399 SAB1=AC(JV)
400 CONTINUE
27 LD=LD+1
SAB1=0.001
IF(FT2(I).EQ.0) GO TO 3
FR(LS)=FT2(I)
3 IF(GAT2(I).NE.0) GO TO 90
GO TO 89
56 LS=LS+1
LC=LC+1
SA(LF)=(S(LK+1)/S(LK))
77 CALL POTAN1(M1,M2,LS,LC,KA,LF)
INT00010
INT00020
INT00030
INT00040
INT00050
INT00060
INT00070
INT00080
INT00090
INT00100
INT00110
INT00120
INT00130
INT00140
INT00150
INT00160
INT00170
INT00180
INT00190
INT00200
INT00210
INT00220
INT00230
INT00240
INT00250
INT00260
INT00270
INT00280
INT00290
INT00300
INT00310
INT00320
INT00330
INT00340
INT00350
INT00360
INT00370
INT00380
INT00390
INT00400
INT00410
INT00420
INT00430
INT00440
INT00450
INT00460
INT00470
INT00480
INT00490
INT00500
INT00510
INT00520
INT00530
INT00540
INT00550
INT00560
INT00570
INT00580
INT00590
INT00600
INT00610
INT00620
INT00630
INT00640
INT00650
INT00660
INT00670
INT00680
INT00690
INT00700
INT00710
INT00720
INT00730
INT00740
INT00750
INT00760
INT00770
INT00780
INT00790
INT00800
INT00810
INT00820
INT00830
INT00840
INT00850
INT00860
INT00870
INT00880
INT00890
INT00900

```



```

LF=LF+1
LD=LD+1
IKO=IKO+2
GO TO 66
55 SA(LF)=(S(IKO+1)/S(IKO))
LS=LS+1
KA=KA+1
GO TO 77
66 KA=KA+1
LC=LC+1
86 IF(FT4(I),FQ,0) GO TO 9
FB(LS)=FT4(I)
9 LS=LS+1
GO TO 10
80 IF(IKAR,FQ,1) GO TO 30
CALL A2
SA(LF)=(GAT1(I)/GFZ(LD))
CALL POTANI(M1,M2,LS,LC,KA,LF)
LF=LF+1
LS=LS+1
KA=KA+1
LD=LD+1
GO TO 3
30 CALL A1
IF(GAT1(I),LT,0) GO TO 1
GO TO 7
90 SA(LF)=(GAT2(I)/GFZ(LD))
CALL POTAN2(M1,LS,LC,KA,LF)
KA=KA+1
LD=LD+1
LF=LF+1
88 IF(GAT3(I),FQ,0) GO TO 56
SA(LF)=(GAT3(I)/(GFZ(LD)))
LS=LS+1
CALL POTAN2(M1,LS,LC,KA,LF)
LF=LF+1
LC=LC+1
LD=LD+1
GO TO 55
98 IF(FT3(I),LT,0) GO TO 4
R(LS)=RUS
GO TO 6
4 R(LS)=RAL
6 SAB1=0.001
DO 500 KS=1,M2
AC(KS)=(SAB1*SAB2)
C(LC)=AC(KS)
RC(LS)=(R(LS)*C(LC))
EG(LD)=(FT3(I)*RC(LS))
IF(EG(LD),GF,-100 .AND. EG(LD),LF,20) GO TO 499
IF(EG(LD),GT,20 .AND. EG(LD),LF,100) GO TO 501
499 SAB1=AC(KS)
500 CONTINUE
501 SAB1=0.001
IF(FT4(I),FQ,0) GO TO 11
FB(LS)=ET4(I)
11 LS=LS+1
LD=LD+1
LC=LC+1
10 CONTINUE
IF(ZM,EQ,0) GO TO 19
RP=RAL
SAB3=0.1
DO 16 JK=1,M1
AR(JK)=SAB3+SAB4
R(LS)=AR(JK)
RC(LS)=(R(LS)/RP)
EG(LD)=(FT5*RC(LS))
IF(EG(LD),GF,-100 .AND. EG(LD),LF,20) GO TO 20
IF(EG(LD),GF,100 .AND. EG(LD),GF,20) GO TO 41
20 SAB3=AR(JK)
16 CONTINUE
41 SA1=(FT6/GE(I))
SA(LF)=(SA1/RP)
LS=LS+1
SAB3=0.1
SAB4=0.02
DO 18 JL=1,M1
AR(JL)=SAB3+SAB4
R(LS)=AR(JL)
AK(KA)=(R(LS)*SA(LF))
IF(AK(KA),LT,0) GO TO 37
IF(AK(KA),LE,1 .AND. AK(KA),GT,.9) GO TO 38
37 SAB3=AR(JL)
18 CONTINUE
38 LS=LS+1
R(LS)=RP
GO TO 13
19 LS=LS-1
KA=KA-1

```

```

INT00910
INT00920
INT00930
INT00940
INT00950
INT00960
INT00970
INT00980
INT00990
INT01000
INT01010
INT01020
INT01030
INT01040
INT01050
INT01060
INT01070
INT01080
INT01090
INT01100
INT01110
INT01120
INT01130
INT01140
INT01150
INT01160
INT01170
INT01180
INT01190
INT01200
INT01210
INT01220
INT01230
INT01240
INT01250
INT01260
INT01270
INT01280
INT01290
INT01300
INT01310
INT01320
INT01330
INT01340
INT01350
INT01360
INT01370
INT01380
INT01390
INT01400
INT01410
INT01420
INT01430
INT01440
INT01450
INT01460
INT01470
INT01480
INT01490
INT01500
INT01510
INT01520
INT01530
INT01540
INT01550
INT01560
INT01570
INT01580
INT01590
INT01600
INT01610
INT01620
INT01630
INT01640
INT01650
INT01660
INT01670
INT01680
INT01690
INT01700
INT01710
INT01720
INT01730
INT01740
INT01750
INT01760
INT01770
INT01780
INT01790
INT01800

```

```

LC=LC-1
LD=LD-1
13 WRITE(6,100)
100 FORMAT(48X,'D F V R C D F N K L F M L F R I ',/,48X,35('*'))
WRITE(6,101)
101 FORMAT(50X,'DIRENCLERIN DEGERLERI')
WRITE(6,102) (R(RZ),RZ=1,LS)
102 FORMAT(50X,F10.2)
WRITE(6,103)
103 FORMAT(54X,'KAPASITFLERIN DEGERLERI')
WRITE(6,104) (C(TR),TR=1,LC)
104 FORMAT(50X,F10.2)
WRITE(6,105)
105 FORMAT(54X,'GIRIS GERILIMLERIN DEGERLERI')
WRITE(6,106) (FG(TN),TN=1,LD)
106 FORMAT(50X,F10.2)
WRITE(6,107)
107 FORMAT(56X,'BASLANGIC DEGERLERI',/)
WRITE(6,108) (FB(TF),TF=1,LS)
108 FORMAT(50X,F8.2)
WRITE(6,109)
109 FORMAT(45X,'POTANSIYOMETRE KATSAYILARININ DEGERLERI')
WRITE(6,110) (AK(TD),TD=1,KA)
110 FORMAT(50X,F8.3)
RETURN
END

```

```

INT01810
INT01820
INT01830
INT01840
INT01850
INT01860
INT01870
INT01880
INT01890
INT01900
INT01910
INT01920
INT01930
INT01940
INT01950
INT01960
INT01970
INT01980
INT01990
INT02000
INT02010
INT02020
INT02030
INT02040
INT02050
INT02060

```

```

*****
RUNGF1  FORTRAN  A
*****
      SUBROUTINE  RUNGF1(YSAR,IYAR,L)
      COMMON /NAM/ N,M
      COMMON /A/  BS(3,3)
      COMMON /HH/ TK0(3),TK1(3),TK2(3),TK3(3),TKSON1(3),TKSON2(3),TSON1(
      C3),TSON2(3)
      COMMON /DF/ DELTA,FPSTLO,YV,HYCK
      COMMON /SO/  V0,SINA,COSA,VSIN,VCOS
      COMMON /CC/  S(50),YCK,ZM
      COMMON /ZZ/  YS(3,9),TS(9),YNOK(3,9),HS(3,9),YESAS(3,9),HESAS(3,9),
      CHATA(3,9),HATA2(3,9),HAT(3),HAT2(3),YES(3),HES(3)
      COMMON /ZAMAN/ HZ(3),YZ(3),TZ,TMAX
      DIMENSION TZ0(3),TZ1(3),TZ2(3),TZ3(3),YA1(3),YA2(3),YA3(3)
      C,HAI(3),HA2(3),HA3(3)
      DIMENSION YZZ(3),YFONK(3)
      CALL SIFIR1(3,3,YS)
      CALL SIFIR2(3,YZZ)
      CALL SIFIR2(3,TKSON1)
      CALL SIFIR2(3,TSON1)
      TZ7=0
      TZZ=TZ
      YZZ(1)=Y7(1)
      YZZ(2)=Y7(2)
      YZZ(3)=Y7(3)
      DO 1000 IT=1,3
      GO TO(10,20) IYAR
10  CALL PRO1(TZ0,TZZ)
      GO TO 9
20  CALL PRO2(TZ0,TZZ)
      DO 11 I=1,L
      TK0(I)=(DELTA*TZ0(I))
      YA1(I)=(YZZ(I)+(TK0(I)/2.))
      TA1=(TZ7+(DELTA/2.))
11  CONTINUE
      GO TO (30,40) IYAR
30  CALL PRO1(TZ1,TA1)
      GO TO 8
40  CALL PRO2(TZ1,TA1)
      DO 12 IA=1,L
      TK1(IA)=(DELTA*TZ1(IA))
      YA2(IA)=(YZZ(IA)+(TK1(IA)/2.))
      TA2=(TZ7+(DELTA/2.))
12  CONTINUE
      GO TO (50,60) IYAR
50  CALL PRO1(TZ2,TA2)
      GO TO 7
60  CALL PRO2(TZ2,TA2)
      DO 13 IB=1,L
      TK2(IB)=(DELTA*TZ2(IB))
      YA3(IB)=(YZZ(IB)+TK2(IB))
      TA3=(TZ7+DELTA)
13  CONTINUE
      GO TO (70,80) IYAR
70  CALL PRO1(TZ3,TA3)
      GO TO 6
80  CALL PRO2(TZ3,TA3)
      DO 14 IC=1,L
      TK3(IC)=(DELTA*TZ3(IC))
      TSON1(IC)=(TK0(IC)+2*TK1(IC)+2*TK2(IC)+TK3(IC))
      TKSON1(IC)=(TSON1(IC)/6.)
      YS(IC,IT)=(YZZ(IC)+TKSON1(IC))
      YZZ(IC)=YS(IC,IT)
14  CONTINUE
      TS(IT)=TZ7+DELTA
      TZZ=TS(IT)
      GO TO (90,100) IYAR
90  CALL PRO1(YFONK,TZZ)
      GO TO 5
100 CALL PRO2(YFONK,TZZ)
      DO 15 IF=1,L
      YNOK(IF,IT)=YFONK(IF)
15  CONTINUE
      WRITE(6,998)
998  FORMAT (20X,'RUNGF KUTTE KATSAYILARININ DEGERLERI')
      WRITE(6,999) TK0(L),TK1(L),TK2(L),TK3(L)
999  FORMAT('TK0',F10.4,3X,'TK1',F10.4,/, 'TK2',F10.4,3X,'TK3',F10.4)
1000 CONTINUE
      WRITE(6,1002)
1002 FORMAT (20X,'B A S L A N G I C  D E F G E R L E R I ')
      WRITE(6,1001) (TS(IT),IT=1,3),((YS(J,IT),IT=1,3),J=1,L)
      C,((YNOK(J,IT),IT=1,3),J=1,L)
1001 FORMAT('ZAMAN',3F10.4,/, 'VER DEGISTIRME',3F10.4,/, 'HIZ',3F10.4)
      DO 3000 IK=1,3
      GO TO (110,120) IYAR
110  CALL PRO1A(L,IK)
      GO TO 130
120  CALL PRO2A(L,IK)
130  DO 16 IZ=1,L
      IF(YESAS(IZ,IK).EQ.0) GO TO 16
      HATA(IZ,IK)=(ARS(YESAS(IZ,IK))-YS(IZ,IK))/(ARS(YESAS(IZ,IK)))
16  CONTINUE
      RUN00010
      RUN00020
      RUN00030
      RUN00040
      RUN00050
      RUN00060
      RUN00070
      RUN00080
      RUN00090
      RUN00100
      RUN00110
      RUN00120
      RUN00130
      RUN00140
      RUN00150
      RUN00160
      RUN00170
      RUN00180
      RUN00190
      RUN00200
      RUN00210
      RUN00220
      RUN00230
      RUN00240
      RUN00250
      RUN00260
      RUN00270
      RUN00280
      RUN00290
      RUN00300
      RUN00310
      RUN00320
      RUN00330
      RUN00340
      RUN00350
      RUN00360
      RUN00370
      RUN00380
      RUN00390
      RUN00400
      RUN00410
      RUN00420
      RUN00430
      RUN00440
      RUN00450
      RUN00460
      RUN00470
      RUN00480
      RUN00490
      RUN00500
      RUN00510
      RUN00520
      RUN00530
      RUN00540
      RUN00550
      RUN00560
      RUN00570
      RUN00580
      RUN00590
      RUN00600
      RUN00610
      RUN00620
      RUN00630
      RUN00640
      RUN00650
      RUN00660
      RUN00670
      RUN00680
      RUN00690
      RUN00700
      RUN00710
      RUN00720
      RUN00730
      RUN00740
      RUN00750
      RUN00760
      RUN00770
      RUN00780
      RUN00790
      RUN00800
      RUN00810
      RUN00820
      RUN00830
      RUN00840
      RUN00850
      RUN00860
      RUN00870
      RUN00880
      RUN00890
      RUN00900

```

```
3000 CONTINUE
      WRITE(6,1003)((YESAS(I,IK),IK=1,3),I=1,L),((HATA(I,IK),IK=1,3),I=
C1,L)
1003 FORMAT('YESAS YER DEGISTIRMELEK:',3F10.4,/, 'HATALAR:',3F14.7,/)
      CALL SIFIR2(3,Y7)
      RETURN
      END
```

```
RUN00910
RUN00920
RUN00930
RUN00940
RUN00950
RUN00960
RUN00970
```

```
*****
** PJTTI                               ** 30/01/84 **
*****
```



```

*****
MILNF1  FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE MILNF1 (ISAR, IYAR, L)
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /NAM/ N, M
COMMON /T/ TS(3,9), YNOK(3,9), HS(3,9), YESAS(3,9), HESAS(3,9)
CHATA(3,9), HATA2(3,9), HAT(3), HAT2(3), YFS(3), HES(3)
COMMON /7AMAN/ HZ(3), YZ(3), T, TMAX
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
COMMON /FC/ S(50), YCK, ZM
COMMON /SP/ VO, SINA, COSA, VSIN, VCOS
DIMENSION YDDD(3), YDDO(3), YFONK(3), YDOH(3), YDDH(3), Y4(3), H4(3)
CALL SIFIR2(3, TS)
CALL SIFIR2(3, YFONK)
CALL SIFIR2(3, YDDO)
CALL SIFIR2(3, YDDO)
CALL SIFIR2(3, Y4)
CALL SIFIR1(3,3, YESAS)
T=0
T=4*DELTA
26 DO 15 I=1,L
  YDDO(I)=(YZ(I)+(4./3.*[2*YNOK(I,3)-YNOK(I,2)+2*YNOK(I,1)])*DELTA)
15 CONTINUE
  GO TO (100,110) IYAR
100 CALL PRO1(YFONK,T)
  GO TO 16
110 CALL PRO2(YFONK,T)
16 DO 14 IA=1,L
  YDDO(IA)=(YS(IA,2)+(DELTA/3.*(YNOK(IA,2)+4*YNOK(IA,3)+YFONK(IA))))
14 CONTINUE
140 GO TO (120,130) IYAR
120 CALL PRO1(YFONK,T)
  GO TO 210
130 CALL PRO2(YFONK,T)
210 DO 3 IA=1,L
  Y4(IA)=(YS(IA,2)+(DELTA/3.*(YNOK(IA,2)+4*YNOK(IA,3)+YFONK(IA))))
  IF(ABS(Y4(IA)-YDDO(IA))-EPSILO)18,18,17
17 YDDO(IA)=Y4(IA)
  YDDO(IA)=YDDO(IA)
3 CONTINUE
  GO TO 140
18 IF (ISAR .EQ. 1) GO TO 45
  XV=VCOS
  XY=(VCOS*T)
  WRITE(6,999) (YDDO(I), I=1,L), (YDDO(I), I=1,L), (YFONK(I), I=1,L)
999 FORMAT('ONCFKI DEGER: YER DEGISTIRME', F10.4, /, 'DUZELTILMIS DEGER;
  C YER DEGISTIRME', F10.4, /, 5X, 'YFONK', F10.4)
  V=SQRT(XV**2+YFONK(I)**2)
  WRITE(6,33)
33 FORMAT('7AMAN', 5X, 'YER DEGISTIRME', 15X, 'HIZIN', 20X, 'BILESKE HIZ
  C', 7X, 'XATILFENI', 2X, 'YBILESENI', 5X, 'XBILESENI', 2X, 'YBILESENI')
  WRITE(6,84) T, XY, (Y4(I), I=1,L), XV, (YFONK(I), I=1,L)
84 FORMAT('F5.2, 5X, F14.7, 5X, F14.7, 5X, F14.7, 2X, F14.7, 6X, F10.5)
  GO TO 6
45 WRITE(6,998) (YDDO(L), I=1,L), (YFONK(L), I=1,L)
998 FORMAT('ONCFKI DEGER: YER DEGISTIRME', F14.7, /, 'DUZELTILMIS DEGER;
  C YER DEGISTIRME', F14.7, /, 2X, 'YFONK', F10.4)
  WRITE(6,1)
1 FORMAT('7AMAN', 15X, 'YER DEGISTIRME', 7X, 'HIZ')
  WRITE(6,2) T, (Y4(L), I=1,L), (YFONK(L), I=1,L)
2 FORMAT('F5.2, 10X, F10.4, 11X, F10.4)
6 IAR=1
  TS(IAR)=T
  GO TO (40,41) IYAR
41 CALL PRO2A(L, IAR)
  GO TO 42
40 CALL PRO1A(L, IAR)
42 DO 5 IE=1,L
  IOR=1
  IF(YESAS(IE, IOR) .EQ. 0) GO TO 48
  HAT(IE)=(ABS(YESAS(IE, IOR)-Y4(IE))/ABS(YESAS(IE, IOR)))
5 CONTINUE
  WRITE(6, 4) (YESAS(L, IOR), (HAT(L), I=1,L)
4 FORMAT('ESAS YER DEGISTIRME', F10.4, 5X, 'HATA', F14.7, /)
48 IF (T - TMAX) 13, 12, 12
12 CALL SIFIR2(3, YZ)
  RETURN
13 T=T+DELTA
  DO 19 IF=1,L
  YNOK(IF,1)=YNOK(IF,2)
  YNOK(IF,2)=YNOK(IF,3)
  YNOK(IF,3)=YFONK(IF)
  YZ(IF)=YS(IF,1)
  YS(IF,1)=YS(IF,2)
  YS(IF,2)=YS(IF,3)
  YS(IF,3)=Y4(IF)
19 CONTINUE
  GO TO 26
END

```



```

*****
RUNGE7  FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE RUNGE7 (ISAR, IYAR, L)
COMMON /A/ NS(3,3)
COMMON /HH/ TK0(3), TK1(3), TK2(3), TK3(3), TKSON1(3), TKSON2(3), TSON1(
C3), TSON2(3)
COMMON /NAM/ N, M
COMMON /DE/ DELTA, EPS, ILO, YV, HYCK
COMMON /ZZ/ YS(3,9), TS(9), YNOK(3,9), HS(3,9), YESAS(3,9), HESAS(3,9),
CHATA(3,9), HATA2(3,9), HAT(3), HAT2(3), YES(3), HES(3)
COMMON /J/ JMAN/ HZ(3), YZ(3), TZ, TMAX
COMMON /PP/ P, P2, P3, P4, P5, P6, P7
COMMON /SC/ COS1, COS2, COS3, SIN1, SIN2, SIN3
COMMON /GG/ AT1(3), AT2(3), AT3(3), AT4(3), DM1, DM2, HA, A, SZ, C7
DIMENSION TZ0(3), TZ1(3), TZ2(3), TZ3(3), YA1(3), YA2(3), YA3(3)
C, HA1(3), HA2(3), HA3(3)
DIMENSION YZZ(3), HZZ(3), YFONK(3)
MA=L
CALL SIFIR1(3,3,YS)
CALL SIFIR1(3,3,YNOK)
CALL SIFIR2(3,TS)
CALL SIFIR2(3,YZ)
CALL SIFIR2(3,HZ)
CALL SIFIR1(3,3,HS)
CALL SIFIR1(3,3,YESAS)
CALL SIFIR1(3,3,HESAS)
CALL SIFIR1(3,3,TSON1)
CALL SIFIR1(3,3,TSON2)
CALL SIFIR1(3,3,TKSON1)
CALL SIFIR1(3,3,TKSON2)
Y77(1)=NS(1,3)
YZZ(2)=NS(2,3)
YZZ(3)=NS(3,3)
HZZ(1)=NS(1,2)
HZZ(2)=NS(2,2)
HZZ(3)=NS(3,2)
TZZ=0
TZZ=T7
DO 1000 IT=1,3
GO TO (1,1,48,49)IYAR
48 CALL PR03(TZ0,HZZ,YZZ)
GO TO 50
49 CALL PR04(TZ0,YZZ)
50 DO 3000 IA=1,L
TK0(IA)=(DELTA*TZ0(IA))
TA1=((DELTA/2)+TZZ)
YA1(IA)=(YZZ(IA)+(DELTA/2)*HZZ(IA))
HA1(IA)=(HZZ(IA)+(TK0(IA)/2))
3000 CONTINUE
GO TO (1,1,51,52)IYAR
51 CALL PR03(TZ1,HA1,YA1)
GO TO 53
52 CALL PR04(TZ1,YA1)
53 DO 4000 IB=1,L
TK1(IB)=(DELTA*TZ1(IB))
TA2=(TZZ+(DELTA/2))
YA2(IB)=(YZZ(IB)+((DELTA/2)*HZZ(IB))+((DELTA/4)*TK0(IB)))
HA2(IB)=(HZZ(IB)+(TK1(IB)/2))
4000 CONTINUE
GO TO (1,1,54,55)IYAR
54 CALL PR03(TZ2,HA2,YA2)
GO TO 56
55 CALL PR04(TZ2,YA2)
56 DO 5000 IC=1,L
TK2(IC)=(DELTA*TZ2(IC))
TA3=(TZZ+DELTA)
YA3(IC)=(YZZ(IC)+DELTA*HZZ(IC)+((DELTA/2)*TK1(IC)))
HA3(IC)=(HZZ(IC)+TK2(IC))
5000 CONTINUE
GO TO (1,1,57,58)IYAR
57 CALL PR03(TZ3,HA3,YA3)
GO TO 59
58 CALL PR04(TZ3,YA3)
59 DO 6000 ID=1,L
TK3(ID)=DELTA*TZ3(ID)
TSON1(ID)=(TK0(ID)+2*TK1(ID)+2*TK2(ID)+TK3(ID))
TKSON1(ID)=(TSON1(ID)/6)
TSON2(ID)=(TK0(ID)+TK1(ID)+TK2(ID))
TKSON2(ID)=(TSON2(ID)*DELTA/6)
YS(ID,IT)=(Y77(ID)+(DELTA*HZZ(ID))+TKSON2(ID))
HS(ID,IT)=(HZZ(ID)+TKSON1(ID))
YZZ(ID)=YS(ID,IT)
HZZ(ID)=HS(ID,IT)
6000 CONTINUE
TS(IT)=TZZ+DELTA
TZZ=TS(IT)
GO TO (1,1,60,61)IYAR
60 CALL PR03(YFONK,HZZ,YZZ)
GO TO 62
61 CALL PR04(YFONK,YZZ)
62 DO 7000 IF=1,L
YNOK(IF,IT)=YFONK(IF)

```

```

RUN00010
RUN00020
RUN00030
RUN00040
RUN00050
RUN00060
RUN00070
RUN00080
RUN00090
RUN00100
RUN00110
RUN00120
RUN00130
RUN00140
RUN00150
RUN00160
RUN00170
RUN00180
RUN00190
RUN00200
RUN00210
RUN00220
RUN00230
RUN00240
RUN00250
RUN00260
RUN00270
RUN00280
RUN00290
RUN00300
RUN00310
RUN00320
RUN00330
RUN00340
RUN00350
RUN00360
RUN00370
RUN00380
RUN00390
RUN00400
RUN00410
RUN00420
RUN00430
RUN00440
RUN00450
RUN00460
RUN00470
RUN00480
RUN00490
RUN00500
RUN00510
RUN00520
RUN00530
RUN00540
RUN00550
RUN00560
RUN00570
RUN00580
RUN00590
RUN00600
RUN00610
RUN00620
RUN00630
RUN00640
RUN00650
RUN00660
RUN00670
RUN00680
RUN00690
RUN00700
RUN00710
RUN00720
RUN00730
RUN00740
RUN00750
RUN00760
RUN00770
RUN00780
RUN00790
RUN00800
RUN00810
RUN00820
RUN00830
RUN00840
RUN00850
RUN00860
RUN00870
RUN00880
RUN00890
RUN00900

```

***** KONO1200 *****
 ***** RITTI ***** 30/01/84 *****


```

*****
MILNE2  FORTRAN  A
*****
SUBROUTINE MILNE2 (ISAR, IYAR, L)
COMMON /NAM/ N, M
COMMON /A/ RS(3,3)
COMMON /77/ YS(3,9), TS(9), YNOK(3,9), HS(3,9), YESAS(3,9), HESAS(3,9),
CHATA(3,9), HATA2(3,9), HAT(3), HAT2(3), YES(3), HES(3)
COMMON /77/ AMAN/ HZ(3), Y7(3), T7, TMAX
COMMON /PP/ P, P2, P3, P4, P5, P6, P7
COMMON /GG/ AT1(3), AT2(3), AT3(3), AT4(3), OM1, OM2, HA, A, SZ, CZ
COMMON /SC/ COS1, COS2, COS3, SIN1, SIN2, SIN3
COMMON /DF/ DELTA, EPSILO, YV, HYCK
DIMENSION YDDD(3), YDDH(3), YFONK(3), YDDH(3), Y4(3), H4(3)
M=L
CALL SIFIR2(3, TS)
CALL SIFIR2(3, YFONK)
CALL SIFIR2(3, YDDD)
CALL SIFIR2(3, YDDH)
CALL SIFIR2(3, YDDH)
CALL SIFIR2(3, Y4)
CALL SIFIR2(3, H4)
CALL SIFIR1(3,3, YESAS)
CALL SIFIR1(3,3, HESAS)
T=0
T=4*DELTA
DO 1 I=1, L
  YDDH(I)=(H7(I)+(4./3.*(2*YNOK(I,3)-YNOK(I,2)+2*YNOK(I,1))*DELTA))
  YDDD(I)=(YS(I,2)+(DELTA/3.)*(YDDH(I)+4*HS(I,3)+HS(I,2)))
1 CONTINUE
  GO TO (100,100,60,61) IYAR
60 CALL PRO3(YFONK, YDDH, YDDD)
  GO TO 62
61 CALL PRO4(YFONK, YDDH)
62 DO 2 J=1, L
  YDDH(J)=HS(J,2)+(1/3.*(YFONK(J)+4*YNOK(J,3)+YNOK(J,2))*DELTA)
  YDDD(J)=(YS(J,2)+(DELTA/3.)*(YDDH(J)+4*HS(J,3)+HS(J,2)))
2 CONTINUE
  GO TO (100,100,63,64) IYAR
63 CALL PRO3(YFONK, YDDH, YDDD)
  GO TO 65
64 CALL PRO4(YFONK, YDDH)
65 DO 3 K=1, L
  H4(K)=HS(K,2)+(DELTA/3.)*(YNOK(K,2)+4*YNOK(K,3)+YFONK(K))
  Y4(K)=(YS(K,2)+(DELTA/3.)*(H4(K)+4*HS(K,3)+HS(K,2)))
3 CONTINUE
  GO TO (100,100,66,67) IYAR
66 CALL PRO3(YFONK, H4, Y4)
  GO TO 68
67 CALL PRO4(YFONK, Y4)
68 DO 4 MA=1, L
  IF(ABS(Y4(MA)-YDDD(MA))-EPSILO) 20,7,7
  YDDH(MA)=YDDD(MA)
  YDDD(MA)=Y4(MA)
20 IF(ABS(H4(MA)-YDDH(MA))-EPSILO) 8,86,86
  YDDH(MA)=H4(MA)
  YDDH(MA)=YDDH(MA)
4 CONTINUE
  GO TO 6
  GO TO (100,100,69,70) IYAR
70 WRITE(6,11) T, (YDDH(IA), IA=1,L), (Y4(IA), IA=1,L)
  C, (H4(IA), IA=1,L), (YFONK(IA), IA=1,L)
11 FORMAT('ZAMAN:',F5.3,/, 'ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME',F10.4,/,
  'ONCEKI DEGER: HIZ',F10.4,/, 'DUZELTILMIS DEGER: YER DEG.',F10.4,/,
  'ONCEKI DEGER: HIZ',F10.4,/, 'FONKSIYONUN DEGERI:',F10.4,/,
  C,4)
  GO TO 74
69 WRITE(6,78) T, (YDDH(L), (Y4(L)), (H4(L)), (YFONK(L))
78 FORMAT('ZAMAN:',F5.3,/, 'ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME',F10.4,5X, 'HIZ',F10.4,/,
  'ONCEKI DEGER: HIZ',F10.4,/, 'DUZELTILMIS DEGER: YER DEG.',F10.4,5X, 'HIZ',F10.4,/,
  'FONKSIYONUN DEGERI:',F10.4)
74 IAR=1
  TS(IAR)=T
  GO TO (100,100,71,55) IYAR
71 CALL PRO3A(L, IAR)
  IOR=1
  TS(IOR)=T
  IF(YESAS(1, IOR).EQ.0) GO TO 55
  HAT(1)=(ABS(YESAS(1, IOR)-Y4(1)))/(ABS(YESAS(1, IOR)))
  IF(HESAS(1, IOR).EQ.0) GO TO 55
  HAT2(1)=(ABS(HESAS(1, IOR)-H4(1)))/(ABS(HESAS(1, IOR)))
  WRITE(6,1003) (YESAS(1,1), I=1,L), (HAT(1), I=1,L), (HESAS(1,1), I=1,L)
  C, (HAT2(1), I=1,L)
1003 FORMAT('ESAS YER DEGISTIRME:',F10.4,/, 'YER DEG. HATA',F14.7,/,
  'ESAS HIZ:',F10.4,/, 'HIZDAKI HATA',F14.7,/)
55 IF(T-TMAX) 13,12,12
12 CALL SIFIR2(3, Y7)
  CALL SIFIR2(3, HZ)
100 RETURN
13 T=T+DELTA
  DO 10 IZ=1, L
  YNOK(IZ,1)=YNOK(IZ,2)
  YNOK(IZ,2)=YNOK(IZ,3)
  YNOK(IZ,3)=YFONK(IZ)
  HZ(IZ)=HS(IZ,1)
  HS(IZ,1)=HS(IZ,2)
  HS(IZ,2)=HS(IZ,3)
  HS(IZ,3)=YDDH(IZ)
  Y7(IZ)=YS(IZ,1)
  YS(IZ,1)=YS(IZ,2)
  YS(IZ,2)=YS(IZ,3)
  YS(IZ,3)=YDDD(IZ)
10 CONTINUE
  GO TO 5
  END
*****
** PTTI ** 30/01/84 **
*****

```

SON A

1. PROBLEMIN SONUCLARI

0.00 14.70 0.00 0.00 11.03 0.00 OPERATOR NOTASYONLARI

HIZ=1/D((0.000)+(0.000)
YER DEGISTIRME=1/D((0.000)+(0.000)
HIZ=1/D((-9.800)+(14.700)
YER DEGISTIRME=1/D((14.700)+(0.000)

6.8027
9.0703 OLCUM CARPANLARI

GERILIM FORMUNDAKI DENKLEMLER

F= -100.00
F= 100.00

-1/D(0.00)+ 0.00

-1/D(0.00)+ 0.00

-1/D(-66.67)+ -100.00

-1/D(-133.33)+ 0.00

DEVR F DENKLEMLERİ

DIRENCLERİN DEGERLERİ

1.00

0.68

KAPASITFLERİN DEGERLERİ

1.00

1.00

GİRİŞ GERİLTİMLERİN DEGERLERİ

-66.67

BASLANGIC DEGERLERİ

-100.00

0.00

POTANSİYOMETRE KATSAYILARININ DEGERLERİ

0.907

1. PROBLEMIN SAYISAL COZUMU

1. DERECE DIFFRANSİYEL DENKLEMLERİN RÜNGE-KUTTE METODU İLE BASLANGIC DEGERLERİNİN BULUNUSU

TK0 1.4700 TK1 1.4210 RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEGERLERİ

TK2 1.4210 TK3 1.3720

TK0 1.3720 TK1 1.3230 RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEGERLERİ

TK2 1.3230 TK3 1.2740

TK0 1.2740 TK1 1.2250 RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEGERLERİ

TK2 1.2250 TK3 1.1760

BASLANGIC DEGERLERİ

ZAMAN: 0.1000 0.2000 0.3000

YER DEGISTIRME 1.4210 2.7440 3.9690

HIZ 13.7200 12.7400 11.7600

ESAS YER DEGISTIRMELER: 1.4210 2.7440 3.9690

HATALAR: 0.0000000 0.0000003 0.0000002

1. DERECE DIFFRANSİYEL DENKLEMLERİN COZUMUNUN MİLE METODU İLE BULUNUSU

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 5.0959949

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 5.0959988

YONK 10.7800

ZAMAN 0.40 YER DEGISTIRME 5.0960 HIZ 10.7800

ESAS YER DEGISTIRME 5.0960 HATA 0.0000004

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 6.1249962

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 6.1249981

YONK 9.8000

ZAMAN 0.50 YER DEGISTIRME 6.1250 HIZ 9.8000

ESAS YER DEGISTIRME 6.1250 HATA 0.0000005

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 7.0559931

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 7.0559978

YONK 8.8200

ZAMAN 0.60 YER DEGISTIRME 7.0560 HIZ 8.8200

ESAS YER DEGISTIRME 7.0560 HATA 0.0000005

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 7.8889942

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 7.8889971

YONK 7.8400

ZAMAN 0.70 YER DEGISTIRME 7.8890 HIZ 7.8400

ESAS YER DEGISTIRME 7.8890 HATA 0.0000006

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 8.6239948

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 8.6239967

YFONK	6.8600	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	0.80	8.6240	6.8600
ESAS YFR DEGISTIRME	8.6240	HATA	0.0000006
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	9.2609940		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	9.2609959		
YFONK	5.8800	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	0.90	9.2610	5.8800
ESAS YFR DEGISTIRME	9.2610	HATA	0.0000006
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	9.7999954		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	9.7999954		
YFONK	4.9000	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.00	9.8000	4.9000
ESAS YFR DEGISTIRME	9.8000	HATA	0.0000005
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.2409925		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.2409945		
YFONK	3.9200	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.10	10.2410	3.9200
ESAS YFR DEGISTIRME	10.2410	HATA	0.0000002
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.5839977		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.5839958		
YFONK	2.9400	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.20	10.5840	2.9400
ESAS YFR DEGISTIRME	10.5840	HATA	0.0000009
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.8289976		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.8289957		
YFONK	1.9600	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.30	10.8290	1.9600
ESAS YFR DEGISTIRME	10.8290	HATA	0.0000001
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.9759998		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.9759989		
YFONK	0.9800	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.40	10.9760	0.9800
ESAS YFR DEGISTIRME	10.9760	HATA	0.0000009
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	11.0250006		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	11.0249996		
YFONK	0.0000	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.50	11.0250	0.0000
ESAS YFR DEGISTIRME	11.0250	HATA	0.0000001
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.9760046		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.9760036		
YFONK	-0.9800	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.60	10.9760	-0.9800
ESAS YFR DEGISTIRME	10.9760	HATA	0.0000004
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.8290062		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.8290062		
YFONK	-1.9600	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.70	10.8290	-1.9600
ESAS YFR DEGISTIRME	10.8290	HATA	0.0000006
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.5840130		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.5840111		
YFONK	-2.9400	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.80	10.5840	-2.9400
ESAS YFR DEGISTIRME	10.5840	HATA	0.0000006
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	10.2410154		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	10.2410154		
YFONK	-3.9199	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	1.90	10.2410	-3.9199
ESAS YFR DEGISTIRME	10.2410	HATA	0.0000012
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	9.8000231		
DUZELTILMIS DEGERI YFR DEGISTIRME	9.8000212		
YFONK	-4.8999	YFR DEGISTIRME	HIZ
ZAMAN	2.00	9.8000	-4.8999
ESAS YFR DEGISTIRME	9.8000	HATA	0.0000003
ONCEKI DEGERI YFR DEGISTIRME	9.2610312		

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 9.2610292
 YFONK -5.8799
 ZAMAN 2.10 9.2610 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 9.2610 HATA -5.8799 0.0000020
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 8.6240368
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 8.6240368
 YFONK -6.8599
 ZAMAN 2.20 8.6240 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 8.6241 HATA -6.8599 0.0000020
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 7.8890467
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 7.8890457
 YFONK -7.8399
 ZAMAN 2.30 7.8890 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 7.8891 HATA -7.8399 0.0000010
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 7.0560541
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 7.0560541
 YFONK -8.8199
 ZAMAN 2.40 7.0561 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 7.0561 HATA -8.8199 0.0000031
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 6.1250668
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 6.1250639
 YFONK -9.7999
 ZAMAN 2.50 6.1251 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 6.1251 HATA -9.7999 0.0000020
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 5.0960760
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 5.0960732
 YFONK -10.7799
 ZAMAN 2.60 5.0961 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 5.0961 HATA -10.7799 0.0000082
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 3.9690866
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 3.9690838
 YFONK -11.7599
 ZAMAN 2.70 3.9691 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 3.9691 HATA -11.7599 0.0000082
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 2.7440968
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 2.7440939
 YFONK -12.7399
 ZAMAN 2.80 2.7441 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 2.7441 HATA -12.7399 0.0000115
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 1.4211082
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 1.4211054
 YFONK -13.7199
 ZAMAN 2.90 1.4211 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 1.4212 HATA -13.7199 0.0000369
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.0001192
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 0.0001163
 YFONK -14.6999
 ZAMAN 3.00 0.0001 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME 0.0002 HATA -14.6999 0.3068181
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -1.5188684
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -1.5188713
 YFONK -15.6799
 ZAMAN 3.10 -1.5189 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME -1.5188 HATA -15.6799 0.0000377
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -3.1358566
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -3.1358585
 YFONK -16.6599
 ZAMAN 3.20 -3.1359 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME -3.1358 HATA -16.6599 0.0000274
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -4.8508377
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -4.8508425
 YFONK -17.6398
 ZAMAN 3.30 -4.8508 HIZ
 FSAS YER DEGISTIRME -4.8508 HATA -17.6398 0.0000151

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -6.6638279
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -6.6638279
 YFONK -19.6198
 ZAMAN 3.40 YER DEGISTIRME HIZ -18.6198
 ESAS YER DEGISTIRME -6.6637 HATA 0.0000152

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -8.5748081
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -8.5748110
 YFONK -19.5998
 ZAMAN 3.50 YER DEGISTIRME HIZ -19.5998
 ESAS YER DEGISTIRME -8.5747 HATA 0.0000121

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -10.5837936
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -10.5837955
 YFONK -20.5798
 ZAMAN 3.60 YER DEGISTIRME HIZ -20.5798
 ESAS YER DEGISTIRME -10.5837 HATA 0.0000096

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -12.6907759
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -12.6907770
 YFONK -21.5598
 ZAMAN 3.70 YER DEGISTIRME HIZ -21.5598
 ESAS YER DEGISTIRME -12.6907 HATA 0.0000094

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -14.8957596
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -14.8957615
 YFONK -22.5398
 ZAMAN 3.80 YER DEGISTIRME HIZ -22.5398
 ESAS YER DEGISTIRME -14.8956 HATA 0.0000088

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -17.1987305
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -17.1987305
 YFONK -23.5198
 ZAMAN 3.90 YER DEGISTIRME HIZ -23.5198
 ESAS YER DEGISTIRME -17.1986 HATA 0.0000071

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -19.5997162
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -19.5997162
 YFONK -24.4998
 ZAMAN 4.00 YER DEGISTIRME HIZ -24.4998
 ESAS YER DEGISTIRME -19.5996 HATA 0.0000078

 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME -22.0986938
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME -22.0986938
 YFONK -25.4798
 ZAMAN 4.10 YER DEGISTIRME HIZ -25.4798
 ESAS YER DEGISTIRME -22.0985 HATA 0.0000090

2. PROBLEMİN SONUÇLARI

152.00 303.00 1512.52 607.00

OPERATOR NOTASYONLARI

$HIZ = 1/D((0.000) + (0.000))$
 $YER\ DEGISTIRME = 1/D((152.000) + (0.000))$
 $HIZ = 1/D((9.810) + (61.000))$
 $YER\ DEGISTIRME = 1/D((303.000) + (0.000))$

L=1512.524-X

OLCUM CARPANLARI

0.0661
 0.3300
 0.1647
 0.0661

GERİLİM FORMUNDAKİ DENKLEMLER

$F = -100.00$
 $G = -100.00$
 $H = -100.00$
 $E = -100.00$

$-1/D(0.00) + 0.00$
 $-1/D(10.05) + 0.00$
 $-1/D(3.24) + -20.13$
 $-1/D(-49.92) + 0.00$

DEVRİ DENKLEMLERİ

 DİRENÇLERİN DEĞERLERİ
 10.00

10.00
0.20
0.72
0.72
1.00
KAPASİTELERİN DEĞERLERİ
1.00
1.00
1.00
0.00
GİRİŞ GERİLİMLERİN DEĞERLERİ
100.49
32.38
22.00
BASLANGIC DEĞERLERİ

0.00
-20.13
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
POTANSİYOMETRE KATSAYILARININ DEĞERLERİ
0.998
0.920

2. PROBLEMİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ
1. DERECE DİFERANSİYEL DENKLEME RÜNGE-KUTTF METODU İLE BASLANGIC DEĞERLERİNİN BULUNUSU

TK0 12.2000 TK1 12.0040
TK2 12.0040 TK3 11.8080
RÜNGE KUTTF KATSAYILARININ DEĞERLERİ
TK0 11.8080 TK1 11.6120
TK2 11.6120 TK3 11.4160
RÜNGE KUTTF KATSAYILARININ DEĞERLERİ
TK0 11.4160 TK1 11.2200
TK2 11.2200 TK3 11.0240
RÜNGE KUTTF KATSAYILARININ DEĞERLERİ
BASLANGIC DEĞERLERİ
ZAMAN: 0.2000 0.4000 0.6000
YER DEĞİSTİRME 12.0040 23.6160 34.8360
HIZ 59.0400 57.0800 55.1200
ESAS YER DEĞİSTİRMELERİ 12.0040 23.6160 34.8360
HATALAR: 0.0000007 0.0000000 0.0000004

1. DERECE DİFERANSİYEL DENKLEMIN ÇÖZÜMÜNÜN MİLE METODU İLE BULUNUSU

ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 45.6640
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 45.6639
YFONK 53.1600
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
0.80 XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ
121.5999760 45.6639404 151.9999850 53.1599731 161.02786
ESAS YER DEĞİSTİRME 45.6640 HATA 0.0000007
ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 56.0999
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 56.0999
YFONK 51.2000
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
1.00 XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ
151.9999690 56.0999298 151.9999850 51.1999817 160.39149
ESAS YER DEĞİSTİRME 56.1000 HATA 0.0000005
ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 66.1439
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 66.1439
YFONK 49.2400
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
1.20 XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ
182.3999480 66.1438904 151.9999850 49.2399750 159.77661
ESAS YER DEĞİSTİRME 66.1440 HATA 0.0000012
ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 75.7959
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 75.7959
YFONK 47.2800
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
1.40 XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ
217.7999110 75.7958984 151.9999850 47.2799835 159.18350
ESAS YER DEĞİSTİRME 75.7959 HATA 0.0000006
ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 85.0559
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 85.0559
YFONK 45.3200
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
1.60 XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ
243.1998750 85.0558624 151.9999850 45.3199768 158.61240
ESAS YER DEĞİSTİRME 85.0559 HATA 0.0000009
ONCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 93.9239
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 93.9239
YFONK 43.3600
ZAMAN YER DEĞİSTİRMELER HIZIN BİLESKE HIZ
XBİLESENİ YBİLESENİ XBİLESENİ YBİLESENİ

1.80	273.5098540	93.9238739	151.9999850	43.3600006	158.06352
ESAS YER DEGISTIRME	93.9239	HATA	0.0000005		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	102.3999				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	102.3998				
YFONK	41.4000				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
2.00	303.9997560	102.3998410	151.9999850	41.3999939	157.53714
FSAS YER DEGISTIRME	102.3999	HATA	0.0000009		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	110.4839				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	110.4839				
YFONK	39.4400				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
2.20	334.3996580	110.4838710	151.9999850	39.4400024	157.03345
FSAS YER DEGISTIRME	110.4839	HATA	0.0000006		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	118.1758				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	118.1758				
YFONK	37.4800				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
2.40	364.7995610	118.1758270	151.9999850	37.4800110	156.55269
ESAS YER DEGISTIRME	118.1759	HATA	0.0000008		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	125.4759				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	125.4759				
YFONK	35.5200				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
2.60	395.1997070	125.4758610	151.9999850	35.5200043	156.09503
ESAS YER DEGISTIRME	125.4759	HATA	0.0000004		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	132.3838				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	132.3838				
YFONK	33.5600				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
2.80	425.5996090	132.3838200	151.9999850	33.5600128	155.66074
ESAS YER DEGISTIRME	132.3839	HATA	0.0000007		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	138.8999				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	138.8999				
YFONK	31.6000				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
3.00	455.9995120	138.8998570	151.9999850	31.6000061	155.24997
FSAS YER DEGISTIRME	138.8999	HATA	0.0000003		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	145.0238				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	145.0238				
YFONK	29.6400				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
3.20	486.3994140	145.0238190	151.9999850	29.6400146	154.86290
FSAS YER DEGISTIRME	145.0239	HATA	0.0000005		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	150.7559				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	150.7559				
YFONK	27.6800				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
3.40	516.7995610	150.7558590	151.9999850	27.6800079	154.49974
FSAS YER DEGISTIRME	150.7559	HATA	0.0000002		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	156.0958				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	156.0958				
YFONK	25.7200				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
3.60	547.1994630	156.0958100	151.9999850	25.7200165	154.16066
FSAS YER DEGISTIRME	156.0959	HATA	0.0000005		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	161.0439				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	161.0439				
YFONK	23.7600				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
3.80	577.5993650	161.0438540	151.9999850	23.7600250	153.84579
FSAS YER DEGISTIRME	161.0439	HATA	0.0000002		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME	165.5998				
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME	165.5998				
YFONK	21.8000				
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI			
4.00	607.9992680	165.5998080	151.9999850	21.8000183	153.55530
ESAS YER DEGISTIRME	165.5999	HATA	0.0000005		

ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 169.7639			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 169.7639			
YFONK 19.8400			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
4.20	638.3994140	169.7638550	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	169.7639	HATA	0.0000001
153.28932			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 173.5358			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 173.5358			
YFONK 17.8800			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
4.40	668.7993160	173.5358120	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	173.5358	HATA	0.0000000
153.04797			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 176.9158			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 176.9159			
YFONK 15.9200			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
4.60	699.1992190	176.9158630	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	176.9158	HATA	0.0000002
152.83141			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 179.9038			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 179.9038			
YFONK 13.9600			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
4.80	729.5993650	179.9038090	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	179.9038	HATA	0.0000003
152.63968			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 182.4999			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 182.4999			
YFONK 12.0000			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
5.00	759.9992680	182.4998630	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	182.4998	HATA	0.0000006
152.47293			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 184.7038			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 184.7038			
YFONK 10.0400			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
5.20	790.3991700	184.7038120	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	184.7037	HATA	0.0000004
152.33119			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 186.5159			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 186.5159			
YFONK 8.0800			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
5.40	820.7990720	186.5158690	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	186.5160	HATA	0.0000005
152.21458			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 187.9358			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 187.9358			
YFONK 6.1200			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
5.60	851.1992190	187.9358220	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	187.9359	HATA	0.0000006
152.12312			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 188.9639			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 188.9639			
YFONK 4.1600			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
5.80	881.5991210	188.9638820	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	188.9639	HATA	0.0000000
152.05688			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 189.5998			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 189.5998			
YFONK 2.2000			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
6.00	911.9990230	189.5998230	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	189.5998	HATA	0.0000001
152.01590			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 189.8439			
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 189.8439			
YFONK 0.2400			
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN	BILESKE HIZ
	XBILSFNI YBILSFNI	XBILSFNI YBILSFNI	
6.20	942.3989260	189.8438870	151.9999850
ESAS YER DEGISTIRME	189.8438	HATA	0.0000002
152.00015			
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 189.6958			

DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 189.6958					
YFONK -1.7200					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
6.40	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-1.7199554	152.00970
FSAS YER DEGISTIRME	189.6958	HATA	0.0000007		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 189.1559					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 189.1559					
YFONK -3.6800					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
6.60	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-3.6799622	152.04451
FSAS YER DEGISTIRME	189.1558	HATA	0.0000006		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 188.2238					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 188.2238					
YFONK -5.6400					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
6.80	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-5.6399536	152.10457
FSAS YER DEGISTIRME	188.2238	HATA	0.0000004		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 186.8999					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 186.8999					
YFONK -7.6000					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
7.00	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-7.5999603	152.18985
FSAS YER DEGISTIRME	186.9000	HATA	0.0000004		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 185.1839					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 185.1839					
YFONK -9.5600					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
7.20	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-9.5599518	152.30031
FSAS YER DEGISTIRME	185.1840	HATA	0.0000006		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 183.0759					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 183.0759					
YFONK -11.5199					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
7.40	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-11.5199432	152.43588
FSAS YER DEGISTIRME	183.0759	HATA	0.0000000		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 180.5759					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 180.5759					
YFONK -13.4799					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
7.60	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-13.4799500	152.59653
FSAS YER DEGISTIRME	180.5759	HATA	0.0000003		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 177.6840					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 177.6839					
YFONK -15.4399					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
7.80	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-15.4399414	152.78214
FSAS YER DEGISTIRME	177.6841	HATA	0.0000008		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 174.3999					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 174.3999					
YFONK -17.3999					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
8.00	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-17.3999481	152.99265
FSAS YER DEGISTIRME	174.3999	HATA	0.0000001		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 170.7240					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 170.7240					
YFONK -19.3599					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
8.20	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-19.3599396	153.22792
FSAS YER DEGISTIRME	170.7239	HATA	0.0000004		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 166.6559					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 166.6559					
YFONK -21.3199					
ZAMAN	YER DEGISTIRMELER	HIZIN		BILESKE HIZ	
8.40	XBILESENI YBILESENI	XBILESENI YBILESENI		-21.3199463	153.48788
FSAS YER DEGISTIRME	166.6562	HATA	0.0000021		
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 162.1960					
DUZELTILMIS DEGER: YER DEGISTIRME 162.1960					
YFONK -23.2799					

ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
8.60	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-23.2799377	153.77238
FSAS YER DEĞİSTİRME	1307.1987300	162.1959690		
	162.1960	HATA 0.0000005		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 157.3439				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 157.3439				
YFONK -25.2399				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
8.80	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-25.2399292	154.08128
FSAS YER DEĞİSTİRME	1337.5986300	157.3439180		
	157.3442	HATA 0.0000020		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 152.1000				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 152.1000				
YFONK -27.1999				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
9.00	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-27.1999359	154.41447
FSAS YER DEĞİSTİRME	1367.9985400	157.0999910		
	152.1001	HATA 0.0000007		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 146.4640				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 146.4639				
YFONK -29.1599				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
9.20	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-29.1599274	154.77174
ESAS YER DEĞİSTİRME	1398.3984400	146.4639430		
	146.4641	HATA 0.0000011		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 140.4361				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 140.4360				
YFONK -31.1199				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
9.40	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-31.1199341	155.15297
ESAS YER DEĞİSTİRME	1428.7985800	140.4360200		
	140.4360	HATA 0.0000001		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 134.0160				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 134.0160				
YFONK -33.0799				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
9.60	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-33.0799255	155.55794
FSAS YER DEĞİSTİRME	1459.1984900	134.0159610		
	134.0161	HATA 0.0000011		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 127.2041				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 127.2040				
YFONK -35.0399				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
9.80	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-35.0399323	155.98650
ESAS YER DEĞİSTİRME	1489.5983900	127.2040410		
	127.2043	HATA 0.0000024		
ONCEKI DEĞER: YER DEĞİSTİRME 120.0000				
DUZELTİLMİS DEĞER: YER DEĞİSTİRME 120.0000				
YFONK -36.9999				
ZAMAN	YER DEĞİSTİRMELER	HIZIN	BİLESKE HIZ	
10.00	XBİLESENİ YBİLESENİ	XBİLESENİ YBİLESENİ	-36.9999237	156.43843
ESAS YER DEĞİSTİRME	1519.9985400	119.9999850		
	120.0002	HATA 0.0000022		

 ** BİTTİ ** 30/01/84 ** BİTTİ **

SON

A

3. PROBLEMİN SONUÇLARI

MAKSİMUM HIZ 14.00

MAKSİMUM YER DEĞİSTİRME 1.00

OPERATÖR NOTASYONLARI

HIZ = $1/D((0.00) + (-990.30) + (-49.00) + (0.00)) + (14.00)$
YER DEĞİSTİRME = $1/D((14.00) + (0.00))$

OLÇUM CARPANLARI

7.1479
100.1020

GERİLİM FORMUNDAKİ DENKLEM

F = -100.00

F = 100.00

-1/D((70.00) + (-7073.59) + (-350.00) + (0.00)) - 100.00

-1/D((-1401.43) + (0.00))

DEVRİT DENKLEMLERİ

DİRENÇLERİN DEĞERLERİ

0.14

2.58

0.66

KAPASİTELERİN DEĞERLERİ

0.10

0.10

GİRİŞ GERİLİMLERİN DEĞERLERİ

70.00

BASLANGIÇ DEĞERLERİ

-100.00

0.00

0.00

POTANSİYOMETRE KATSAYILARININ DEĞERLERİ

0.990

0.903

0.925

3. PROBLEMİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ

2. DERECE DİFERANSİYEL DENKLEMİN RUNGE-KUTTE YÖNÜ İLE BASLANGIÇ DEĞERLERİNİN BULUNUSU

RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEĞERLERİ

TK0 -0.9805
TK1 -0.9462
TK2 -0.9474
TK3 -0.9142

RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEĞERLERİ

TK0 -0.9142
TK1 -0.8822
TK2 -0.8833
TK3 -0.8523

RUNGE KUTTE KATSAYILARININ DEĞERLERİ

TK0 -0.8523
TK1 -0.8225
TK2 -0.8235
TK3 -0.7947

BASLANGIÇ DEĞERLERİ

ZAMAN: 0.0010 0.0020 0.0030
YER DEĞİSTİRME 0.01352 0.02613 0.03788
HIZ 13.0530412.1701411.34695

ESAS YER DEĞİSTİRMELER: 0.0135 0.0261 0.0379
YER DEĞİSTİRMEDEN HATALAR 0.0000003 0.0000006 0.0000008
ESAS HIZLAR: 13.0530 12.1701 11.3470
HIZLARDAKİ HATALAR 0.0000001 0.0000005 0.0000008

2. DERECE DİFERANSİYEL DENKLEMİN ÇÖZÜMÜNÜN MİLENE YÖNÜ İLE BULUNUSU

ZAMAN: 0.004
ÖNCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 0.0488 HIZ 10.5795
DUZELTİLMİŞ DEĞER: YER DEĞ. 0.0488 HIZ 10.5794
FONKSİYONUN DEĞERİ: -740.9431
ESAS YER DEĞİSTİRME: 0.0488
YER DEĞ. HATA 0.0000005
ESAS HIZ: 10.5795
HIZDAKİ HATA 0.0000014

ZAMAN: 0.005
ÖNCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 0.0591 HIZ 9.8639
DUZELTİLMİŞ DEĞER: YER DEĞ. 0.0591 HIZ 9.8639
FONKSİYONUN DEĞERİ: -690.8262
ESAS YER DEĞİSTİRME: 0.0591
YER DEĞ. HATA 0.0000004

FSAS HIZ: 9.8639
HIZDAKI HATA 0.0000019

ZAMAN:0.006
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.0686 HIZ 9.1967
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.0686 HIZ 9.1967
FONKSIYONUN DEGERI: -644.0991
FSAS YER DEGISTIRME: 0.0686
YER DEG. HATA 0.0000000
FSAS HIZ: 9.1967
HIZDAKI HATA 0.0000025

ZAMAN:0.007
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.0775 HIZ 8.5746
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.0775 HIZ 8.5746
FONKSIYONUN DEGERI: -600.5325
FSAS YER DEGISTIRME: 0.0775
YER DEG. HATA 0.0000008
FSAS HIZ: 8.5746
HIZDAKI HATA 0.0000031

ZAMAN:0.008
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.0857 HIZ 7.9946
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.0857 HIZ 7.9946
FONKSIYONUN DEGERI: -559.9131
FSAS YER DEGISTIRME: 0.0857
YER DEG. HATA 0.0000007
FSAS HIZ: 7.9946
HIZDAKI HATA 0.0000037

ZAMAN:0.009
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.0935 HIZ 7.4539
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.0935 HIZ 7.4539
FONKSIYONUN DEGERI: -522.0408
FSAS YER DEGISTIRME: 0.0935
YER DEG. HATA 0.0000013
FSAS HIZ: 7.4539
HIZDAKI HATA 0.0000046

ZAMAN:0.010
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1007 HIZ 6.9497
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1007 HIZ 6.9497
FONKSIYONUN DEGERI: -486.7302
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1007
YER DEG. HATA 0.0000018
FSAS HIZ: 6.9497
HIZDAKI HATA 0.0000051

ZAMAN:0.011
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1074 HIZ 6.4796
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1074 HIZ 6.4796
FONKSIYONUN DEGERI: -453.8081
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1074
YER DEG. HATA 0.0000017
FSAS HIZ: 6.4796
HIZDAKI HATA 0.0000062

ZAMAN:0.012
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1136 HIZ 6.0413
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1136 HIZ 6.0413
FONKSIYONUN DEGERI: -423.1128
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1136
YER DEG. HATA 0.0000021
FSAS HIZ: 6.0414
HIZDAKI HATA 0.0000069

ZAMAN:0.013
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1195 HIZ 5.6327
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1195 HIZ 5.6327
FONKSIYONUN DEGERI: -394.4937
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1195
YER DEG. HATA 0.0000025
FSAS HIZ: 5.6327
HIZDAKI HATA 0.0000080

ZAMAN:0.014
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1249 HIZ 5.2517
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1249 HIZ 5.2517
FONKSIYONUN DEGERI: -367.8103
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1249
YER DEG. HATA 0.0000024
FSAS HIZ: 5.2517
HIZDAKI HATA 0.0000087

ZAMAN:0.015
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1300 HIZ 4.8965
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1300 HIZ 4.8965
FONKSIYONUN DEGERI: -342.9316
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1300
YER DEG. HATA 0.0000032

FSAS HIZ: 4.8965
HIZDAKI HATA 0.0000107

ZAMAN:0.016
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1347 HIZ 4.5653
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1347 HIZ 4.5653
FONKSIYONUN DEGERI: -319.7361
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1347
YER DEG. HATA 0.0000031
FSAS HIZ: 4.5653
HIZDAKI HATA 0.0000111

ZAMAN:0.017
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1391 HIZ 4.2565
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1391 HIZ 4.2565
FONKSIYONUN DEGERI: -298.1091
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1391
YER DEG. HATA 0.0000034
FSAS HIZ: 4.2565
HIZDAKI HATA 0.0000132

ZAMAN:0.018
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1432 HIZ 3.9686
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1432 HIZ 3.9686
FONKSIYONUN DEGERI: -277.9456
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1432
YER DEG. HATA 0.0000037
FSAS HIZ: 3.9686
HIZDAKI HATA 0.0000135

ZAMAN:0.019
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1471 HIZ 3.7001
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1471 HIZ 3.7001
FONKSIYONUN DEGERI: -259.1453
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1471
YER DEG. HATA 0.0000045
FSAS HIZ: 3.7002
HIZDAKI HATA 0.0000162

ZAMAN:0.020
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1506 HIZ 3.4499
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1506 HIZ 3.4498
FONKSIYONUN DEGERI: -241.6172
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1506
YER DEG. HATA 0.0000047
FSAS HIZ: 3.4499
HIZDAKI HATA 0.0000166

ZAMAN:0.021
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1540 HIZ 3.2165
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1540 HIZ 3.2165
FONKSIYONUN DEGERI: -225.2742
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1540
YER DEG. HATA 0.0000050
FSAS HIZ: 3.2166
HIZDAKI HATA 0.0000193

ZAMAN:0.022
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1571 HIZ 2.9989
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1571 HIZ 2.9989
FONKSIYONUN DEGERI: -210.0369
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1571
YER DEG. HATA 0.0000053
FSAS HIZ: 2.9990
HIZDAKI HATA 0.0000197

ZAMAN:0.023
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1600 HIZ 2.7961
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1600 HIZ 2.7961
FONKSIYONUN DEGERI: -195.8299
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1600
YER DEG. HATA 0.0000060
FSAS HIZ: 2.7961
HIZDAKI HATA 0.0000225

ZAMAN:0.024
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1627 HIZ 2.6070
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1627 HIZ 2.6070
FONKSIYONUN DEGERI: -182.5844
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1627
YER DEG. HATA 0.0000062
FSAS HIZ: 2.6070
HIZDAKI HATA 0.0000238

ZAMAN:0.025
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1652 HIZ 2.4306
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1652 HIZ 2.4306
FONKSIYONUN DEGERI: -170.2342
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1652
YER DEG. HATA 0.0000065

FSAS HIZ: 2.4307
 HIZDAKI HATA 0.0000267

 ZAMAN:0.026
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1675 HIZ 2.2662
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1675 HIZ 2.2662
 FONKSIYONUN DEGERI: -158.7199
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1675
 YER DEG. HATA 0.0000068
 FSAS HIZ: 2.2663
 HIZDAKI HATA 0.0000278

 ZAMAN:0.027
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1697 HIZ 2.1129
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1697 HIZ 2.1129
 FONKSIYONUN DEGERI: -147.9839
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1697
 YER DEG. HATA 0.0000070
 FSAS HIZ: 2.1130
 HIZDAKI HATA 0.0000316

 ZAMAN:0.028
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1718 HIZ 1.9700
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1718 HIZ 1.9700
 FONKSIYONUN DEGERI: -137.9746
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1718
 YER DEG. HATA 0.0000076
 FSAS HIZ: 1.9701
 HIZDAKI HATA 0.0000329

 ZAMAN:0.029
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1737 HIZ 1.8367
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1737 HIZ 1.8367
 FONKSIYONUN DEGERI: -128.6418
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1737
 YER DEG. HATA 0.0000079
 FSAS HIZ: 1.8368
 HIZDAKI HATA 0.0000374

 ZAMAN:0.030
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1754 HIZ 1.7125
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1754 HIZ 1.7125
 FONKSIYONUN DEGERI: -119.9409
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1754
 YER DEG. HATA 0.0000082
 FSAS HIZ: 1.7126
 HIZDAKI HATA 0.0000379

 ZAMAN:0.031
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1771 HIZ 1.5967
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1771 HIZ 1.5967
 FONKSIYONUN DEGERI: -111.8278
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1771
 YER DEG. HATA 0.0000088
 FSAS HIZ: 1.5967
 HIZDAKI HATA 0.0000430

 ZAMAN:0.032
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1786 HIZ 1.4887
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1786 HIZ 1.4887
 FONKSIYONUN DEGERI: -104.2641
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1786
 YER DEG. HATA 0.0000090
 FSAS HIZ: 1.4887
 HIZDAKI HATA 0.0000442

 ZAMAN:0.033
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1801 HIZ 1.3880
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1801 HIZ 1.3880
 FONKSIYONUN DEGERI: -97.2115
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1801
 YER DEG. HATA 0.0000096
 FSAS HIZ: 1.3880
 HIZDAKI HATA 0.0000508

 ZAMAN:0.034
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1814 HIZ 1.2941
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1814 HIZ 1.2941
 FONKSIYONUN DEGERI: -90.6364
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1814
 YER DEG. HATA 0.0000099
 FSAS HIZ: 1.2941
 HIZDAKI HATA 0.0000508

 ZAMAN:0.035
 ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1827 HIZ 1.2065
 DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1827 HIZ 1.2065
 FONKSIYONUN DEGERI: -84.5054
 FSAS YER DEGISTIRME: 0.1827
 YER DEG. HATA 0.0000104

FSAS HIZ: 1.2066
HIZDAKI HATA 0.0000593

ZAMAN: 0.036
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1838 HIZ 1.1249
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1838 HIZ 1.1249
FONKSIYONUN DEGERI: -78.7899
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1838
YER DEG. HATA 0.0000107
FSAS HIZ: 1.1250
HIZDAKI HATA 0.0000593

ZAMAN: 0.037
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1849 HIZ 1.0488
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1849 HIZ 1.0488
FONKSIYONUN DEGERI: -73.4602
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1849
YER DEG. HATA 0.0000110
FSAS HIZ: 1.0489
HIZDAKI HATA 0.0000691

ZAMAN: 0.038
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1859 HIZ 0.9779
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1859 HIZ 0.9779
FONKSIYONUN DEGERI: -68.4918
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1859
YER DEG. HATA 0.0000115
FSAS HIZ: 0.9780
HIZDAKI HATA 0.0000678

ZAMAN: 0.039
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1869 HIZ 0.9117
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1869 HIZ 0.9117
FONKSIYONUN DEGERI: -63.8586
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1869
YER DEG. HATA 0.0000118
FSAS HIZ: 0.9118
HIZDAKI HATA 0.0000802

ZAMAN: 0.040
ONCEKI DEGER: YER DEGISTIRME 0.1878 HIZ 0.8501
DUZELTILMIS DEGER: YER DEG. 0.1878 HIZ 0.8501
FONKSIYONUN DEGERI: -59.5397
FSAS YER DEGISTIRME: 0.1878
YER DEG. HATA 0.0000124
FSAS HIZ: 0.8501
HIZDAKI HATA 0.0000780

4. PROBLEMİN SONUÇLARI

MAXSIMUM HIZLAR 1.4626 5.8505 10.2383
MAXSIMUM YER DEGISTIRMELER 0.2533 1.0133 1.7733
OPERATOR NOTASYONLARI
YER DEGISTIRME=1/D((-8.44)+(8.44)+(0.00)+(0.00)+(0.00) 0.00)
HIZ=1/D((1.46)+(1.46)+(0.00)+(0.00)+(0.00) 0.00)
YER DEGISTIRME=1/D((4.22)+(-33.78)+(29.56)+(0.00)+(0.00) 0.00)
HIZ=1/D((5.85)+(0.00)+(0.00)+(0.00)+(0.00) 0.00)
YER DEGISTIRME=1/D((0.00)+(33.78)+(-59.11)+(12.67)+(0.00) 0.00)
HIZ=1/D((10.24)+(1.00)+(0.00)+(0.00)+(0.00) 0.00)

OLCUM CARPANLARI

68.3705
394.7368
17.0926
98.6842
9.7672
56.3910

GFRİİM FORMUNDAKI DENKLEML

f = -100.00
f = 100.00
f = -100.00
f = 100.00
f = -100.00
f = 100.00

-1/D((-577.35)+(577.35)+(0.00)+(0.00) 0.00

-1/D((-577.35)+(0.00)

-1/D((72.17)+(-577.35)+(505.18)+(0.00)) 0.00
-1/D((-577.35)+(0.00))
-1/D((0.00)+(329.91)+(-577.35)+(123.72)) 0.00
-1/D((-577.35)+(56.39))

D F V R F D E N K L E M L E R I

D I R E N C L E R I N D E G E R L E R I

0.16
0.16
0.16
1.26
0.16
0.18
0.16
10.00
10.00
10.00
0.16
K A P A S I T F L E R I N D E G E R L E R I
1.00
1.00
1.00
1.00
0.01
1.00
G I R I S G E R I L I M L E R I N D E G E R L E R I
12.37
B A S L A N G I C D E G E R L E R I

0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.00
0.16
P O T A N S I Y O M E T R E K A T S A Y I L A R I N I N D E G E R L E R I
0.924
0.924
0.924
0.909
0.924
0.909
0.924
0.924
0.330
0.577
0.924

4. P R O B L E M I N S A Y I S A I Ç Ö Z Ü M Ü
2. D E R E C E D I F F R A N S I Y E L D E N K L E M D E R U N G U T - K U T T I M E T O D U İ L E B A S L A N G I C D E G E R L E R I N I N B U L U N U S U

R U N G E K U T T I K A T S A Y I L A R I N I N D E G E R L E R I
TK0 0.0000 1.6667 -2.0667
TK1 0.0000 1.6667 -2.0667
TK2 0.0347 1.4417 -1.7556
TK3 0.0694 1.2167 -1.4444
R U N G E K U T T I K A T S A Y I L A R I N I N D E G E R L E R I
TK0 0.0644 1.2388 -1.4742
TK1 0.1237 0.8330 -0.9116
TK2 0.1442 0.6710 -0.6855
TK3 0.1971 0.2227 -0.0582
R U N G E K U T T I K A T S A Y I L A R I N I N D E G E R L E R I
TK0 0.2027 0.1907 -0.0259
TK1 0.2709 -0.3858 0.7922
TK2 0.2582 -0.3950 0.8109
TK3 0.2779 -0.8174 1.4140

B A S L A N G I C D E G E R L E R I
ZAMAN:0.1000,2000,300
YER DEĞİSTİRME 0.001 0.008 0.034 0.080 0.277 0.493 0.702 0.665 0.426
HIZ 0.023 0.156 0.413 1.517 2.262 1.898 -1.859 -2.647 -1.881

2. D E R E C E D I F F R A N S I Y E L D E N K L E M İ N Ç Ö Z Ü M Ü N Ü N M I L N E M E T O D U İ L E B U L U N U S U
ZAMAN:0.400
ÖNCEKİ DEĞER: YER DEĞİSTİRME 0.0912 0.6293 0.3274
ÖNCEKİ DEĞER: HIZ 0.6838 0.6976 0.0870
DÜZELTİLMİŞ DEĞER: YER DEĞ. 0.0914 0.6287 0.3286
DÜZELTİLMİŞ DEĞER: HIZ 0.6838 0.6976 0.0870
FONKSİYONUN DEĞERİ: 2.1916 -13.9568 22.6712
ZAMAN:0.500