

57580

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN
LİNEER VE NON-LİNEER
ANALİZİ



İnş. Müh. Zihni KİLİT

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Su Programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yalçın YÜKSEL

57580

İSTANBUL, 1996

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa No |
|--|----------|
| ÖZET | II |
| SUMMARY | III |
| I. BÖLÜM | |
| SU DAĞITIM ŞEBEKELERİ VE DİZAYN KRİTERLERİ | |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Şebeke Tipleri | 2 |
| 1.3. Şebekenin Elemanları | 2 |
| 1.3.1. Borular | 2 |
| 1.3.2. Depolar | 3 |
| 1.3.3. Buster Pompaları | 5 |
| 1.3.4. Vanalar | 5 |
| 1.3.5. Yangın Muslukları | 5 |
| 1.3.6. Servis Bağlantıları | 6 |
| 1.3.7. Diğer Detaylar | 7 |
| II. BÖLÜM | |
| BORU HİDROLİĞİNDE VE SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE TEMEL KAVRAMLAR | |
| 2.1. Giriş | 10 |
| 2.1.1. Türbülanslı Akım: Darcy-Weisbach Formülü | 14 |
| 2.1.2. Türbülanslı Akımda Viskozite Etkisi | 17 |
| 2.1.3. Amirik İfadeler | 21 |
| 2.1.3.a Blasius Formülü | 24 |
| 2.1.3.b Hazen Williams Formülü | 24 |
| 2.1.3.c Manning Formülü | 25 |
| 2.1.4. Formüllerin Özeti | 27 |
| 2.2. Su Dağıtım Şebekelerinin Çözüm Yöntemleri | 28 |
| 2.2.1. Giriş | 28 |
| 2.2.2. İskelet Sisteminin Belirlenmesi | 28 |
| 2.2.3. Temel Denklemler ve Bilinmeyenler | 29 |
| 2.3. Bilgisayar Yardımıyla Çözüm Yöntemleri | 35 |
| 2.3.1. Düğüm Noktası Yaklaşımı | 36 |
| 2.3.1.1. Hardy-Cross Metodu | 43 |
| 2.3.1.2. Newton-Cross Metodu | 45 |
| 2.3.1.3. Newton-Raphson Metodu | 45 |
| 2.3.2. Göz Yaklaşımı | 45 |
| 2.3.2.1. Hardy-Cross Metodu | 53 |
| 2.3.2.2. Newton-Cross Metodu | 54 |
| 2.3.2.3. Newton-Raphson Metodu | 54 |
| 2.3.3. Lineer Analiz Yaklaşımı | 54 |

| | Sayfa No |
|--|----------|
| 2.3.4. Yaklaşım ve Çözüm Metodlarının Karşılaştırılması | 58 |
| 2.3.4.1. Yaklaşımların Karşılaştırılması | 58 |
| 2.3.4.2. Çözüm Metodlarının Karşılaştırılması | 59 |
| 2.4. Su Dağıtım Şebekelerinin Hidroliği - Hardy Cross Metodu | 61 |
| 2.4.1. Giriş | 61 |
| 2.4.2. Örnekler | 63 |
| 2.5. Su Dağıtım Şebekelerinin Ölü Noktalar Metodu | 70 |
| 2.5.1. Giriş | 70 |
| 2.6. Konu ile İlgili Çalışmalar | 75 |

III. BÖLÜM

BORU ŞEBEKELERİNİN LİNEER VE NON-LİNEER MODELLEMESİ

| | |
|---|-----|
| 3.1. Giriş | 89 |
| 3.2. Enerji Kayıpları | 90 |
| 3.3. Elemanların Analizleri | 91 |
| 3.4. Eleman Matris Denklemi | 95 |
| 3.5. Denklemlerin Toplam Sistemi | 96 |
| 3.6. Sınır Koşulları | 103 |
| 3.7. Lineer Analiz İçin Denklem Sisteminin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi | 105 |
| 3.8. Boru Şebekelerinin Lineer Analizi İçin Bilgisayar Programı | 110 |
| 3.9. Non-Lineer Analiz İçin Denklem Sisteminin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi | 135 |
| 3.10. Boru Şebekelerinin Non-Lineer Analizi İçin Program | 141 |

IV. BÖLÜM

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN OPTİMİZASYONU

| | |
|--|-----|
| 4.1. Lineer Programlama ile Boru Şebekelerinin Optimum Tasarımı | 158 |
| 4.1.1. Ana İletim Hattı Çapları İçin Simplex Metodu | 158 |
| 4.1.2. Şebeke Tasarımı | 165 |
| 4.1.3. Gözlü Şebekeler-LP Optimizasyonu | 165 |
| 4.1.4. Lineer Program | 166 |
| 4.2. Gözlü Şebekeler İçin Dinamik ve Non-Lineer Programlama | 172 |
| 4.2.1. Bileşik Boruların Optimizasyonu İçin Dinamik Programlama | 173 |
| 4.2.2. Minimum-Maliyetli Kaynak Tahsisi İçin Taşıma Programlaması | 176 |
| 4.2.3. Şebekelerin Genişletilmesi İçin En Dik Yükselen Yol Tekniği | 178 |
| 4.2.4. Gözlü Şebeke Tasarımı | 182 |

V. BÖLÜM

UYGULAMA

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 5.1. Örnek Şebeke Sisteminin Tanıtımı | 188 |
|---------------------------------------|-----|

| | Sayfa No |
|---|----------|
| 5.2. Uygulama Alanının Değişik Yöntemler Yardımı ile Çözümü | 189 |
| 5.2.1. Ölü Nokta Metod ile Çözüm | 189 |
| 5.2.2. Hardy-Cross Metodu ile Çözüm | 194 |
| 5.2.3. Lineer Metod ile Çözüm | 199 |
| 5.2.4. Non-Lineer Metod ile Çözüm | 204 |
| 5.3. Sonuçların Grafikselleştirilmesi | 210 |
| | |
| VI. BÖLÜM | |
| | |
| SONUÇLAR | 212 |
| | |
| KAYNAKLAR | 213 |
| | |
| EKLER | |
| EK1 | 214 |
| EK2 | 226 |
| EK3 | 232 |
| EK4 | 255 |
| EK5 | 281 |
| EK6 | 283 |
| | |
| ÖZGEÇMİŞ | |

TEŐEKKÜR

Tüm çalıőmalarımnda ve tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını hiçbir zaman eksik etmeyen çok değerli hocam Sayın Doç.Dr. Yalçın YÜKSEL' e sonsuz teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezimin oluşumunda desteklerini esirgemeyen Sayın Prof.Dr. Sabahattin ÜÇ' e, Berk Uzun' a, Ali KOÇAK' a, Ali COŐAR' a ve hidrolik kürsüsündeki değerli öğretim elemanlarına sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Bu çalışmada su dağıtım şebekelerinin dizaynında kullanılan genel metodoloji incelenerek, tanımlanan çalışma şartları için seçilen dizayn parametrelerine göre şebekeler için temel hidrolik denklemler yeniden yazılmıştır. Bu yazılan ifadeler lineer ve nonlineer metodlar kullanılarak çözümlenmiştir. Bu araştırmaların ne kadar fizibil olduğunu araştırmak için, algoritmalar tanımlandıktan sonra örnek bir şebeke üzerinde uygulamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Hardy Cross ve ölü nokta metodlarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

Problemi tanımlayan temel hidrolik denklemler iterativ olarak çözümlenebilen nonlineer cebirsel denklemlerdir. Bu denklemler süreklilik ve hareket denklemleridir. Bu çalışmada dal şebekelerin lineer programlama yoluyla ve gaz şebekelerin nonlineer programlama ile optimum dizaynları da göz önüne alınmıştır. Bütün bu çalışmalar kullanımı kolay programların bir PC yardımıyla çalıştırılmasıyla yapılmıştır.

Bu programlar oldukça büyük şebeke sistemleri için geliştirilmiştir. Bu tezde tanımlanan metod ve teknikler çok fazla hafıza gerektirmeyen bilgisayarlarda koşturulabilen şebeke analizi için geliştirilmiştir.

SUMMARY

A general methodology were investigated for use in the design of water distribution networks. This work is based on recasting the basic set of hydraulic network equations in terms of selected design parameters for specified operating conditions. The reformulated network equations are then solved using linear and nonlinear method. In order to demonstrate the feasibility of the approach, the algorithms are presented and then applied to an example network. The results are compared with Hardy Cross solutions and the end points method.

The basic hydraulic equations describing the phenomena are nonlinear algebraic equations which must be solved iteratively. These are mass and momentum continuity equations. In this work, optimum design of branched pipe networks by linear programming, and also nonlinear programming for looped networks have been considered. For all these works friendly programs has been run in a PC.

These programs, developed for very karge networks. The method and the techniques described in this thesis were developed for pipe network analysis on small computers.

I BÖLÜM

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİ VE DİZAYN KRİTERLERİ

1.1 Giriş

Su dağıtım şebekelerinin amacı suyu tüketiciye ulaştırmaktır. İyi planlanmış bir dağıtım şebekesinin, ihtiyaç duyulan suyu yeterli miktarda, istenilen basınçta ve kullanılabilir bir kalitede tüketiciye ulaştırması gerekir. Dağıtım şebekesinin planlanmasında kaynakların durumu, topoğrafya, maliyet ve şehrin gelecekteki gelişmesi gözönüne alınacak önemli unsurlardır. Bir sistemin ekonomik ve hidrolik yönlerden ideal sisteme yakın olabilmesi için aşağıdaki özellikleri taşıması gerekir.

- a) Önerilen maksimum ve minimum basınç limitlerine göre şebekenin bağımsız basınç bölgelerinden oluşması,
- b) Sistemin yeterli su temin ederken şartnamelere uygun en düşük basıncı sağlaması,
- c) Bir basınç bölgesi için mümkün mertebe düzenli basınç sağlanması ve basınç değişimlerinin $\% \pm 20$ ' den fazla olmaması,
- d) Şebekenin kapalı çerçeveler halinde düzenlenerek değişik yönlerden su akışı imkanının sağlanması,
- e) Acil ihtiyaçlar için bölgeler arası irtibat sağlanması,
- f) Normal işletme anında basınç bölgeleri arasında yarım açık veya bir basınç bölgesi içinde kapalı vanaların bulunmaması,
- g) Depo kapasitelerinin ihtiyaç salınımlarını dengeleyecek ve acil hallerde gerekli beslemeyi yapabilecek şekilde tespit edilmesi,
- h) Korozyon ve kabuk bağlamayı önleyecek inşaat malzemelerinin kullanılması,
- i) Şebekenin kaçaklarının tesbit edilmesine elverecek bir şekilde kısımlara ayrılmış olması,
- j) İnşaat ve işletme sırasında kirlenmeyi önleyecek tedbirlerin alınmış olması,
- k) İşletmenin kolay olabilmesi için uygun sayıda vana ve tahliyenin mevcut olması,
- l) Sık bakım isteyen, özellikle yeraltındaki mekanik ve özel düzenlerin sayısının az olması,
- m) Ölü noktaların sayısının az olması,
- n) Vaziyet planının basit olması,
- o) Şebekede bütün boru, birleşim yeri ve servis bağlantılarının önerilen maksimum basınçlara dayanıklı olması.

Bir şehrin şebekesi yukarıda sayılan özelliklerden hepsini içermeyebilir. Zira her şebeke, şehrin gelecekteki gelişmesinin de önemli ölçüde etkilendiği zaman içinde değişen bazı şartlar için planlanmaktadır.

1.2 - Şebeke Tipleri

Şehrin yerleşme durumu, topoğrafya ve sokakların planlarına göre dağıtım şebekesi dal veya ağ sistemi olarak planlanabilir.

Daha ziyade basınç bölgelerindeki sokaklarda döşenen dal sistemindeki borularda, su yalnız bir yönde akar. (Şeki 1.1a) Dal sisteminde herhangi bir boruda arıza olması halinde o borudan sonraki tüketicilere su verilmez. Bu nedenle dal sistemi topoğrafya gerektirmedikçe tercih edilmemelidir.

Daha az meyilli ve genişçe bir alana yayılmış basınç bölgelerinde ise ağ sistemi kullanılır. (Şekil 1.1b) Bu sistemde su, boruda iki yönden de akabilir.

Şebekeler kaynakların yerleşimine göre cazibe veya pompaj ile beslenebilir. Cazibe ile beslenen şebekeler en tercih edilen sistemlerdir.

Dağıtımın pompa ile yapılması halinde şebekenin muhtelif teşkil tarzları vardır. Bir halde pik ihtiyaçlar depo teşkil edilmeden pompa ile doğrudan doğruya şebekeye basılır. Ancak küçük basınç bölgeleri için uygulanan bu sistem en az tercih edilen dağıtım sistemi olup ekonomik de değildir.

Diğer bir şekilde pompaların terfi hattı ile doğrudan doğruya teşkil edilen depolara su basıp, şebekenin bu depolardan cazibe ile beslenmesidir. Ülkemizde bir çok şehirde uygulanan bu usul şebekede ani basınç değişimleri yaratmadığı ve sabit pompa manometrik yüksekliği gerektirdiği, hidrolik açıdan emniyetli ancak fazla terfi yüksekliği gerektirdiğinden daha az ekonomiktir.

Bir çok batı ülkesiyle beraber, Türkiye’ de genellikle nüfusu yüzbinin üstündeki şehirlerde uygulanan diğer bir pompaj ile besleme tarzı da pompa ile depoların, şebekeyi birlikte beslemesidir. Bu tarz beslemede pompalar şebekeye daima günlük ortalama ihtiyacı basarlar; depolar minimum kullanım saatlerinde ihtiyaç fazlası su ile dolar, ortalama ihtiyacın üzerindeki tüketimsüresinde ise şebekeye su verirler. Pompajlı basınç bölgesi teşkilinde yaygın şekilde uygulanan belli başlı 3 tip Şekil 1.2’ de gösterilmiştir. Bu tipler değişik pompa depo tertipleri ile basınçların üniform kalması, akım yönlerinin uygun olması, depoların randımanlı çalışması için oluşturulmuş olup herhangi bir tipin seçilmesi basınç bölgesinin özellikleriyle yakından ilgilidir.

1.3 - Şebekenin Elemanları

Bir su dağıtım sistemi; besleme boruları, servis boruları, ana ve tali dağıtım boruları, buster pompaları, vanalar, yangın muslukları, basınç kırıcı tesisler ve servis bağlantılarından oluşur. Ancak bir şebekede bulunacak elemanlar, sistemin özelliklerine bağlı olduğundan genel bir şebeke tanımı vermek mümkün değildir.

Şebekeyi teşkil eden elemanların başlıcalarının görevleri aşağıda özetlenmiştir.

1.3.1 - Borular

Şebekenin esas unsurunu teşkil ederler. Besleme boruları pompa istasyonları ve depoları birbirine bağlayan büyük çaplı borulardır. Ana dağıtım boruları, ana besleyicilerden ve depolardan aldıkları suyu tali dağıtım şebekesine veren borulardır. Sokak içi tali dağıtım boruları ise sadece döşendikleri sokaklara hizmet eden ve ana

dağıtım borularına nisbetle küçük çaplı borulardır. Tüm tali dağıtım boruları ana borulardan ayrılmaz.

Bazı hallerde uygulamada “ Lateral “ diye adlandırılan borular, ana dağıtım borularından suyu alarak tali dağıtım borularına verir. Lateraller hem ana dağıtım borusu hem de tali dağıtım borusu vazifesi görürler.

Şebekede borular genellikle malzeme cinsine göre sınıflandırılırlar. Dağıtım şebekelerinde kullanılan başlıca boru tipleri PVC, font, asbestli, çimento boru, çelik, düktil font ve betonarme borulardır. Şebeke için boru tipi seçerken aşağıdaki faktörlerin göz önüne alınması gerekir:

- a) Satınalma bedelleri,
- b) Döviz ihtiyacı,
- c) Nakliye, yükleme, boşaltma, depolama ve istif bedeli,
- d) Hendek kazısı, dolgusu, boruların yerleştirilmesi,
- e) Boru ferfiyat ve tecrübesi,
- f) Özel parça ihtiyaçları,
- g) Tecrit ve korozyon problemleri,
- h) Bakım ve işletme masrafları,
- i) Amortisman sssüresi,
- j) Pürüzlülük ve yük kayıpları,
- k) İç basınçlara ve dış yüklere dayanma özelliği,
- l) Geçirimsizlik,
- m) Depreme karşı dayanma.

Borulardaki hızlar en az 0,5 m/s, en çok 1-1,2 m/s olmalıdır. Su hızı bazı hallerde 1,5 m/s 'ye kadar çıkabilir.

Borularda minimum çap ise 80 mm. alınmalıdır.

1.3.2 - Depolar

Su depolarının başlıca görevleri yangın olması halinde su teminin garantilemek, talep değişmelerinin sistemdeki tesirini azaltmak ve sistemde uzak bir kaynaktan su getiren bir elemanın arızalanması ile isalenin kesilmesi halinde su verilen bölgenin susuz kalmasını önlemektir. Bu görevleri yapabilmesi için su depoları hizmet ettikleri dağıtım sahalarına mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilmelidir. Sistemde, meskun sahalara yakın yerlerde büyük miktarda suyun emre hazır bulunması toplumu korur ve yangın nedeniyle meydana gelebilecek büyük tahribat riskini azaltır.

Dağıtım sistemindeki su talebi, tasfiye tesisi veya pompalardan gelen miktarlardan az olduğu zamanlar depolar dolar. Talep sisteme verilen sudan fazla olduğu zamanlar ise boşalırlar. Depoların bu fonksiyonu pompa istasyonları, ana besleme boruları, tasfiye tesisleri ve isale hatlarının herhangi bir gün boyunca sabit debi ile işletilmesini sağlar. Dolayısıyla depoların günlük maksimum akımlara göre projelendirilmesi sistemin belli başlı elemanlarının kapasitelerinde büyük çapta ekonomi sağlar.

Depoların sınıflandırılması çeşitli kriterlere göre yapılabilir;

- (a) Kullanış amacına göre; içmesuyu veya yangın depoları,
- (b) Yapım tekniğine göre; kargir, beton, betonarme depolar,
- (c) Zeminden yüksekliğine göre; gömme veya ayaklı depolar.

Depolar, şehirdeki su basıncının belirli sınırlar içinde kalmasını temin eder. İller Bankası Talimatnamesine göre küçük şehirlerde şebekenin her noktasında en az 20 mss, nüfusu 100000 'den büyük olan şehirlerde ise en az 30 mss işletme basıncı gereklidir. Şebekedeki en büyük basınç ise 80 mss alınmaktadır. Depoların en önemli görevlerinden birisi de şebekedeki su basıncının en düşük ve en büyük basınç sınırları arasında tutmasıdır. Eğer depo konulmasaydı basınç değişimi çok fazla olurdu.

Depo hacmi 30 yıl sonraki max. günlük sarfiyata göre hesaplanır. Ayaklı haznelerin büyütülmeleri imkansız olduğundan hacimleri daha uzun senelere göre bulunur. Bu hususlar dikkate alınarak depo hacminin bulunmasında sınırlayıcı bazı kayıtlar getirilmiştir. Memleketimizde bu konuda "İller Bankası talimatnamesi" yürürlüktedir. Dolayısıyla depo hacmi bulunurken şartname kayıtlarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. İller Bankası şartnamesine göre :

1) Menbadan beslenen ve menba debisinin saatlik max. sarfiyattan büyük olduğu hallerde depo hacmi max. günlük sarfiyatın $1/4 \sim 1/3$ 'ü

2) Menbadan beslenen hallerde ve max. saatlik sarfiyatın menba debisinden büyük olduğu durumlarda depo hacmi max. günlük sarfiyatın $1/4 \sim 1/1$ 'i arasında alınır.

Bu durumda şartnamede belirtilen en küçük depo hacmi max. günlük sarfiyatın $1/4$ 'ü yani %25 dir.

Depodaki su yüksekliği depo büyüklüğüne bağlı olarak seçilebilir.

$V < 300 \text{ m}^3$ için su yüksekliği $h=3 \text{ m}$.

$400 < V < 500 \text{ m}^3$ için su yüksekliği $h=4 \text{ m}$.

$V > 500 \text{ m}^3$ için su yüksekliği $h=5 \text{ m}$.

Depo hacmi 3 kısımdan meydana gelir.

1) Her an değişik değerlerde olan su sarfiyatındaki salınımları dengeleyen su hacmi,

2) Yangın hacmi,

3) Tamir, arıza vs. gibi acil durumlar için biriktirilen su hacmi.

Su sarfiyatındaki salınımlar için gerekli depo hacmi analitik ve grafik yollarla bulunabilir.

Yangın için su hacimleri ise nüfusa bağlı olarak alınır. Bu değerler :

| | |
|---|--------------------|
| Nüfusu 10000 'den küçük kasabalarda | 36 m ³ |
| Nüfusu 10000 ile 50000 arasında olan şehirlerde | 72 m ³ |
| Nüfusu 50000 'den büyük olan şehirlerde | 360 m ³ |

dür.

Tamir, arıza gibi acil durumlar için biriktirilen su hacminin büyüklüğü isale hattında bir arızanın olmasıyla depoyu besleyen su akımının kesilmesi tehlikesine ve arızayı gidermek için gerekli olan zamana bağlıdır. Bazı memleketlerde acil ihtiyaçlar için biriktirilecek su hacmi toplam depo hacminin %25 'ine eşit alınmaktadır. Ancak İller Bankası İçme Suyu Talimatnamesinde bu maksatla ayrı bir hacim alınmakta, arıza ile yangının aynı anda meydana gelmediği kabul edilerek bu su miktarı yangın hacmi içinde düşünülmektedir.

O halde depo hacmi bulunurken su sarfiyatındaki salınımları dengeleyen depo hacmine, yangın için gerekli su hacmini ilave edilmelidir.

1.3.3 - Buster Pompaları

Buster pompaları dağıtım şebekesinin herhangi bir borusunda veya kısmında basıncı basıncı yükseltmek için kullanılırlar. Bir anlamda buster pompaları basınç kırıcı tesislerin tam tersi işlemi yaparak debiyi değiştirmeden basıncı yükseltirler.

1.3.4 - Vanalar

Dağıtım şebekelerinde değişik amaçlar için değişik vanalar kullanılır. Bunların başlıcaları sürgü vanalar, kelebek vanalar, tek yönlü vanalar (çek valf) ve basınç kırıcı vanalardır.

Sürgü vanalar akım kontrol amacıyla kullanılırlar. Genellikle kapatıldıkları zaman şebekenin ufak bir bölümünün hizmetten çıkarılarak tamir edilmesi mümkün olacak şekilde yerleştirilirler. Sürgü vanalar bazı hallerde şebekenin düşük noktalarına rüsubat yıkamak içinde konulabilir.

Kelebek vanalar su depoları çıkışlarında düzenleme ve kapatma vanaları olarak kullanılır. Bu tip vanalar halen çok kullanılmamakla beraber son yıllarda güvenilirliği ve verimliliği artması sonucu önem kazanmaya başlamıştır.

Tek yönlü vanalar (çek valf) akımın tek yönlü olmasını sağlayan vanalar olup terfi hatlarında kullanılmaktadırlar.

1.3.5 - Yangın Muslukları

Yangın muslukları, yangınları söndürmek, caddeleri sulamak, gerektiğinde suyu boşaltmak için yangın hortumlarının bağlanarak yüksek miktarda su çekebilmesini sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler su borusundan başlayıp zemine veya zeminin üstüne çıkan bağlantılardan oluşmaktadır. Islak ve kuru olmak üzere iki tip vardır. Islak olanı eski bir tip olup yangın musluğu kapandıktan sonra içi su dolu olarak kalır; bu sebeple donma problemi vardır. Kuru tiplerde donma problemi halledilmiş olup burada kapatma vanası, yangın musluğu kapatıldıktan sonra suyun drene olmasını sağlayacak şekilde tabana konulmuştur.

Yangın muslukları zemin içinde açılan çukurlara yerleştirilebileceği gibi, gömme tip, zemin üstüne de yerleştirilebilir.

Gömme tip yangın musluklarının dezavantajları aşağıda sıralanmıştır.

- a) Debileri zemin üstü tipe nazaran daha azdır,
- b) Sistemde negatif basınç meydana geldiğinde sifonlama ile sisteme pis su girerek kirlenmeye sebep olur.
- c) Acil durumlarda yerini bulmak zorluğu olabilir.
- d) Kolayca ulaşılabilir ve gözle görülecek şekilde meydana olmadıklarından

Yukarıdaki sebeplerden ötürü kuru tipte zemin üstü yangın musluğu kullanmak daha uygun olur.

Yangın musluklarının yerleştirilme aralığı her musluğun hizmet edeceği alana bağlıdır. Bu alan ise basınç bölgesindeki nüfus yoğunluğuna, yangına karşı hassasiyete ve kullanılan yangın söndürme metoduna bağlıdır.

Yangın sarfiyatının dikkate alınmasında borular ana boru, esas boru ve tali borular olmak üzere üç kısımda değerlendirilir. Ana boru, şehri besleyen depo ile şehir arasındaki borudur. Esas borular daha küçük çaptaki tali boruları besleyen nispeten büyük çaplı borulardır. Diğer borular tali borulardır.

Borular önem derecesine göre bu şekilde sınıflandırıldıktan sonra, su dağıtma ağının ana, esas ve tali borularında göz önünde bulundurulması gerekli yangın debileri ile yangının devam süresi, talimatnamede şu şekilde verilmektedir.

Nüfusu 10000'e kadar olan kasabalarda ana ve esas borular 5 lt/s ve tali borular 2,5 lt/s. 'lik ilave bir yangın debisi taşınmalı ve kasabada bir tek yangın olduğu ve yangının iki saat devam ettiği kabul edilmelidir. Nüfusu 10000 ile 500000 arasında olan şehirlerde ise ana boru 10 lt/s, esas borular 5 lt/s, tali borular 2,5 lt/s 'lik ilave bir yangın debisi taşınmalı ve şehirde iki yangın olduğu ve her birinin iki saat devam ettiği kabul edilmelidir.

Nüfusu 50000 'den büyük olan şehirlerde ise, ana boru 20 lt/s, esas boru 10 lt/s ve tali borular 5 lt/s 'lik ilave yangın sarfiyatı taşınmalı ve şehirde iki yangın olduğu ve 5 saat devam ettiği kabul edilmelidir.

Yangın muslukları, hortum boyu 50-75 m kabul edilerek, herhangi bir noktada meydana gelecek yangını söndürmek üzere 100-150 m. ara ile mümkün olduğu kadar köşe başlarına konur.

1.3.6 - Servis Bağlantıları

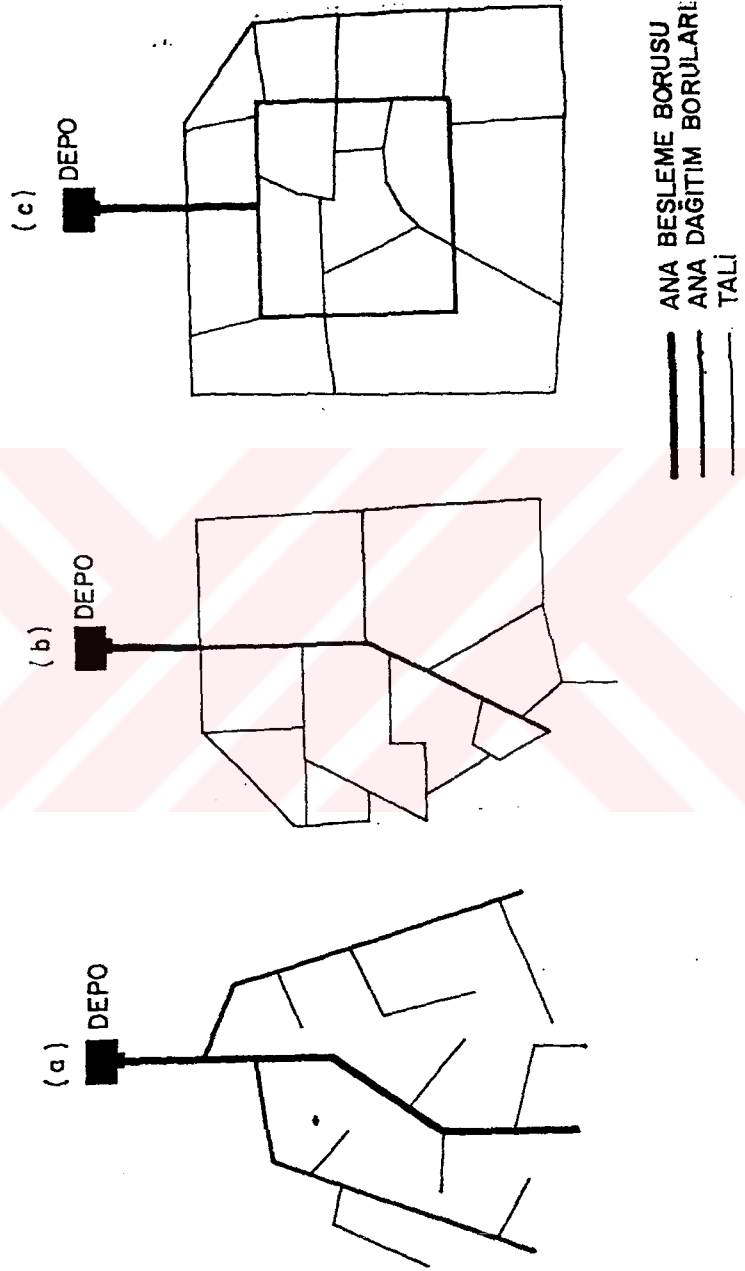
Abone servis bağlantıları genellikle şebeke borusuna vidalanan bir priz musluğu, kaldırma veya mülkiyet sınırına kadar uzanan bir bağlantı borusu, kaldırma vanası, bina içine giren bir servis borusu, ve bir sayaçtan oluşmaktadır. Servis bağlantısının sokak üzerinde kalan kısmı yol ve ana su borusu gibi kamu tesislerini içine aldığından genellikle sular idaresi tarafından yerleştirilir. Muayyen şartlarda yük kayıpları çok artabileceğinden servis borusunun çapı dikkatle tesbit edilmelidir.

1.3.7 - Diğer Detaylar

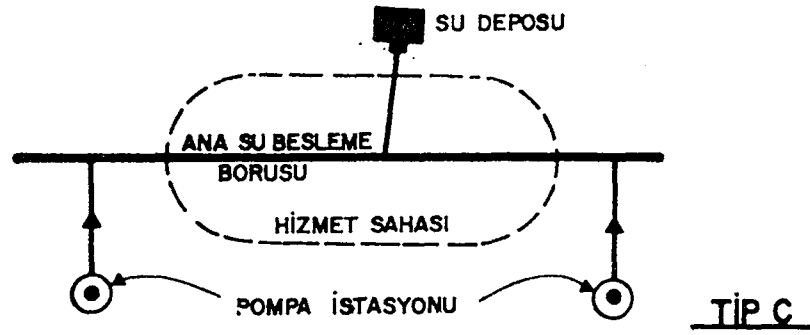
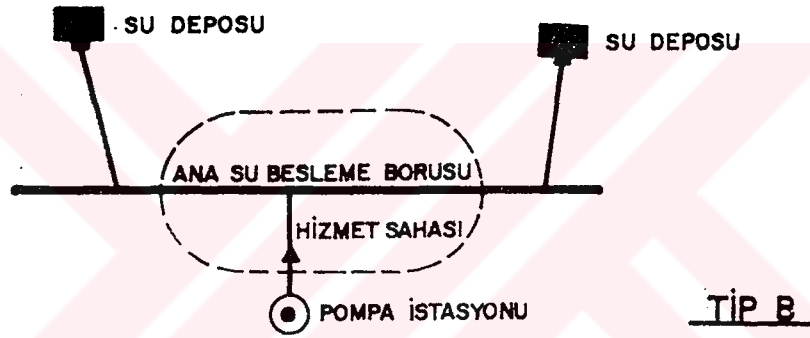
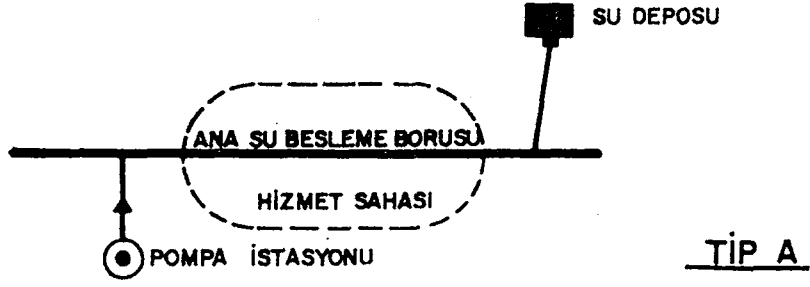
Sistemin projelendirme esaslarına uygun olarak işletilebilmesi ve gelecekteki tevsi projelerinin doğru ve sıhhatli bir şekilde planlandırılıp projelendirilmesi için sisteme giren ve çıkan suyun, sistemin birçok önemli noktasında doğru olarak ölçülmesi gereklidir. Bu nedenle ana hatlar üzerinde, depolarda ve pompa istasyonlarında akım ölçüm gereçleri yerleştirmek gerekir. Gelirlerin tahsili ve su kayıplarının tebiti için abonelere verilen su miktarının da ölçülmesi önemlidir.

Tahliye tesisi ve özel parçalarda her şebekede yer alan elemanlardır.





Şekil 1.1 - Şebeke Tipleri



Şekil 1.2 - Pompaj Zonlarının Beslenme Tipleri

II BÖLÜM

BORU HİDROLİĞİNDE VE SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Giriş

Bu bölümde basınçlı borulardaki akış incelenecek ve su dağıtım şebekelerinin analizi ile ilgili olarak bazı temel kavramlar gözden geçirilecektir. Akışkan akımının temel momentum ifadesinden başlayarak, dairesel kesitli borulardaki laminer akım için bir bağıntı elde edilecektir. Bazen Poiseuille bağıntısı olarak isimlendirilen bu eşitlik, sistemin temel denge şartları gözönüne alınarak oluşturulacaktır.

Şekil 2.1 'de gösterilen boru kesitini ele alalım; akışkan yüksek basınçlı bir kesitten düşük basınçlı bir bölgeye doğru akmaktadır. eksenden uzaklık r ve uzunluğu δx olan bir akışkan hacmi dikkate alındığında, viskoz etkilerden dolayı silindirik hacmin üst yüzeyinde, τ ile gösterilen bir kayma gerilmesi oluşacaktır, buna göre ;

Sürtünme kuvveti = Basınçtan dolayı oluşan kuvvet

ya da

$$\tau(2\pi r)\delta x = \delta p\pi r^2 \quad (2.1)$$

Buradan

$$\tau = \frac{\delta p}{\delta x} \frac{r}{2} \quad (2.2)$$

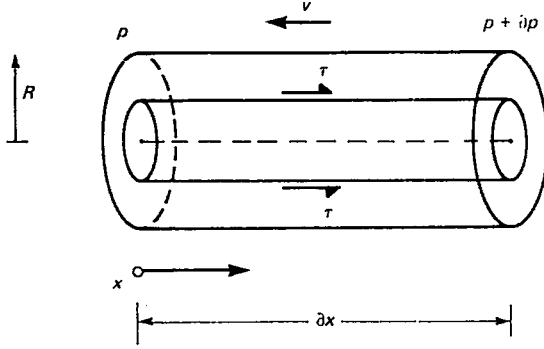
veya limitte

$$\tau = \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \frac{r}{2} \quad (2.3)$$

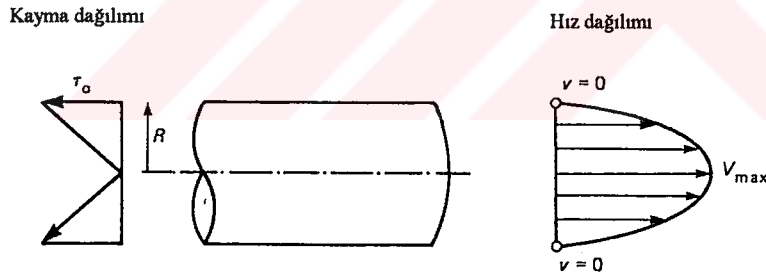
Bu denklemin de belirttiği ve Şekil 2.2 'de gösterildiği gibi, kayma gerilmesinin, eksende $\tau = 0$ 'dan, cidardaki τ_0 maksimum değerine kadar, borunun enkesiti boyunca lineer değişimi sözkonusudur.

Eğer akışkan, Newton akışkanı ise kayma gerilmesi aşağıdaki ifadede gösterildiği gibi hız ile doğru orantılıdır .

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial r} \quad (2.4)$$



Şekil 2.1. Boru



Şekil 2.2. Sürtünme kuvveti ve hız dağılımı

Burada μ dinamik viskozitedir. (2.3) ve (2.4) denklemlerinden

$$\frac{r}{2} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right) \quad (2.5)$$

elde edilir.

r ' ye göre integralini alırsak

$$v = \int \frac{r}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) dr \quad (2.6)$$

buda

$$v = \frac{r^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) + C \quad (2.7)$$

verecektir.

C, $v=0$ $r=R$ şartlarında sabit olarak ortaya çıkar Bu nedenle

$$v = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2.8)$$

dir. Hız dağılımı enkesit boyunca paraboliktir.

$r=0$ da oluşan maksimum hız

$$V_{\max} = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2.9)$$

dir. Ortalama değer

$$V = \frac{\int_0^R v d\Omega}{\Omega} = \frac{\text{hacimsel debi}}{\text{kesit}} \quad (2.10)$$

Burada $\Omega = \Pi r^2$ borunun kesit alanıdır . Bu nedenle $d\Omega = 2\Pi r dr$ dir ve böylece

$$v = \frac{1}{\Pi R^2} \int_0^R 2\Pi r \left(\frac{1}{4\mu} \right) \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) (r^2 - R^2) dr \quad (2.11)$$

bu ifade

$$V = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{V_{\max}}{2} \quad (2.12)$$

şeklinde yazılır.

Şimdi sürtünme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük kaybı hesaplanabilir. (2.12) denkleminde

$$\Delta p = -\frac{8\mu V}{R^2} \Delta x \quad (2.13)$$

Bu nedenle L uzunluğundaki bir borunun yük kaybı

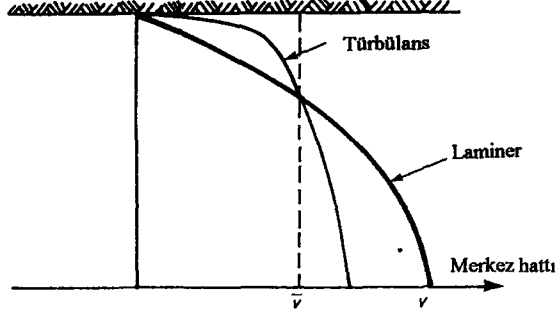
$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{8\mu V}{\rho g R^2} L = \frac{32\mu V}{\rho g D^2} L \quad (2.14)$$

olur. Burada $D (=2R)$ borunun çapıdır. Enerji çizgisi eğimi (h_f / L) ortalama hızla orantılıdır. Akım, küçük çaplı akım yollarında viskoz kuvvetlerin etkin olduğu durumda laminerdir, aksi takdirde türbülanslıdır. Yukarıdaki bağıntılar laminar akım için geçerlidir, türbülans söz konusu olduğunda bu ifadeler değişecektir. Bu durumda deneysel verilere ihtiyaç olacaktır.

Akım türbülanslı olduğunda hız profili daha üniform olmaktadır. Bu profil aşağıda gösterilen amprik ifadeyle açıklanabilir :

$$\frac{v}{V_{\max}} = \left(1 - \frac{r}{R} \right)^n \quad (2.15)$$

Burada n, Re ile değişmektedir yani



Şekil 2.3. Laminer ve türbülanslı akım için hız profilleri

$$n = \begin{cases} \text{Re} = 4 \times 10^3 & \text{iç in } 6 \\ \text{Re} = 1.1 \times 10^5 & \text{iç in } 7 \\ \text{Re} = 3.2 \times 10^6 & \text{iç in } 10 \end{cases}$$

2.1.1. Türbülanslı Akım : Darcy - Weisbach Formülü

Darcy-Weisbach formülü olarak bilinen ve borulardaki yük kaybını veren ifade

$$h_f = \lambda \frac{V^2}{D} \left(\frac{L}{2g} \right) \quad (2.16)$$

denklemini ile verilir, burada λ sürtünme faktörüdür.

Türbülanslı akımlar için geçerli olan bu ifade, (2.14) deki eşitlikle karşılaştırıldığında, yük kaybının, V yerine V^2 ile orantılı ve D^2 yerine de D ile ters orantılı olduğu görülür.

Formül deneysel verilere dayanmaktadır ve boru cidarındaki (2.3) denkleminden faydalanarak açıklanabilir, yani

$$\frac{\partial p}{\partial x} \cong \frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{4}{D} \tau_0 \quad (2.17)$$

Deneysel veriler τ_0 kayma gerilmesinin V 'nin ikinci dereceden üstüyle orantılı olduğunu göstermiştir. Eğer

$$\tau_0 = cV^2 \quad (2.18)$$

olarak ele alırsak denklem

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{4c}{D\rho g} V^2 L \quad (2.19)$$

haline gelir.

Bu deklemi (2.16) denklemi ile mukayese edersek $\lambda = 8c/\rho$ yi buluruz ve böylece

$$\frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{V^2}{D} \left(\frac{L}{2g} \right) \quad (2.20)$$

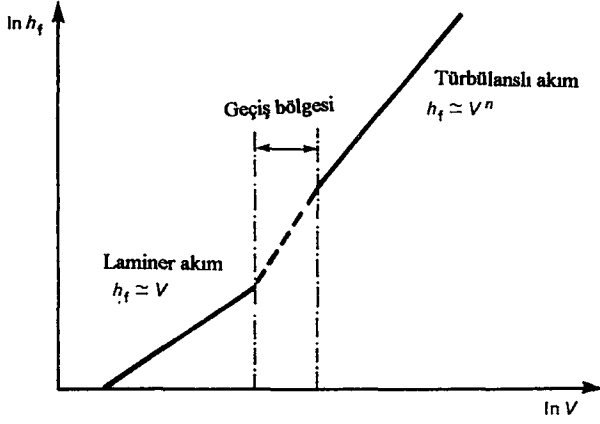
elde edilir.

Osborne Reynolds tarafından yapılan deneyler, yük kaybının hıza göre değişimini veren Şekil 2.4 'den görüldüğü gibi, hız arttığında akımın laminardan türbülanslı akıma dönüştüğünü ortaya koymuştur. Kayıplar, laminar akım için V ile, türbülanslı akım için ise V^n ile orantılıdır. Bu basit ifade, ileride görüleceği gibi tümüyle doğru değildir.

Türbülanslı akımdaki yük kayıplarının, türbülanslı akımın rastgele davranışlarından doğan enerji kayıplarının daha fazla oluşu nedeniyle, laminar akımdakinden çok daha büyük olduğu gösterilmiştir. Şekil 2.4 'de gösterilen geçiş bölgesi değerleri, boru çapından etkilenmektedir. Bu nedenle Reynolds, akışkan akımın yapısını etkileyen faktörleri saptamaya çalışmış ve Reynolds sayısı, Re , olarak bilinen boyutsuz sayıyı bulmuştur. Reynolds, borudaki akışkanın davranışının yalnızca üç değişkenden etkileneceğini düşünerek yola çıkmıştır, bunlar; μ , akışkanın dinamik viskozitesi ρ akışkanın özgül kütlesi ve D borunun çapıdır. Bu değişkenleri hız boyutunda bir değer elde etmek üzere düzenlemenin tek yolunun

$$\mu/\rho D \quad (2.21)$$

şeklinde olduğu görülmüştür.



Şekil 2.4. Yük kaybı - hız değişimi

Daha sonra Reynolds, deneylerinde bulduğu bütün kritik hızları bu ifadeye bölerek, dairesel borular için 2000 civarında olan boyutsuz bir oran elde etmiş ve $Re (= \rho DV/\mu) < 2000$ ise akışın laminar olacağını, buna karşın, $Re > 2000$ olursa akışın türbülanslı hale geleceğini belirlemiştir.

Geçiş bölgesi (Şekil 2.4), bu bölgede akımın laminar veya türbülanslı olabilmesi nedeniyle kararlı olmayan bir bölgedir. Bu yüzden, ideal şartlarda

| | | |
|------------------|--------------------|--------|
| laminar akım | $Re < 2000$ | |
| geçiş bölgesi | $2000 < Re < 4000$ | (2.22) |
| türbülanslı akım | $Re > 4000$ | |

olarak kabul edilmektedir.

Laminar akım için Poiseuille ifadesi geçerlidir ve bu nedenle laminar akım için λ değeri, (2.14) denklemi,

$$h_f = \frac{32\mu V L}{\rho g D^2} \quad (2.14)$$

(2.16) denklemi ile

$$h_f = \lambda \frac{V^2}{2gD} L \quad (2.16)$$

ile karşılaştırılarak türetilbilir,

O halde

$$\frac{32\mu V}{\rho g D^2} = \lambda \frac{V^2}{2gD} \quad (2.23)$$

ve böylece

$$\lambda = 64 \frac{v}{DV} = \frac{64}{Re} \quad (2.24)$$

bulunur.

2.1.2: Türbülanslı Akımda Viskozite Etkisi

Blasius türbülanslı akımda viskozite etkisini araştırmış, cilalı cidarda viskozite tesirinin etkin olduğunu ve sürtünme katsayısının (λ) yalnızca Re sayısına bağlı olduğunu saptamıştır. Eğer pürüzlülük artırılırsa, akım, Re sayısının yanısıra bir pürüzlülük katsayısı tarafından da etkilenir. Cilalı borular ve $4000 < Re < 10^5$ sınırları için Blasius, Darcy - Weisbach formülündeki λ için aşağıdaki ifadeyi vermiştir:

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (2.25)$$

Eğer Darcy - Weisbach formülünde bu ifade konursa

$$h_f = 0.316 \left(\frac{v}{DV} \right)^{0.25} \left(\frac{\Delta L V^2}{2gD} \right) \quad (2.26)$$

veya

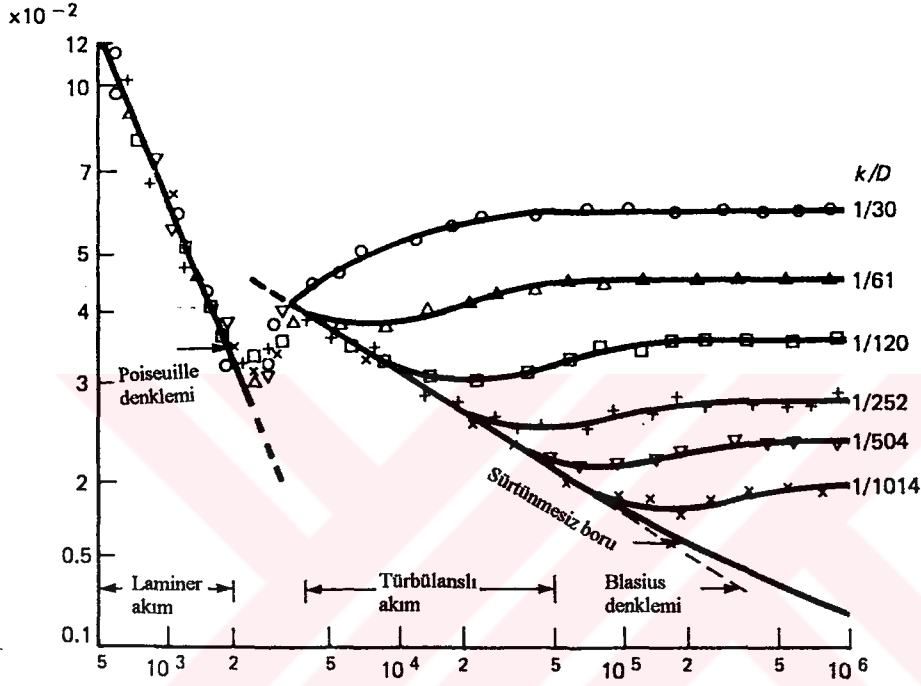
$$h_f = cV^{1.75} \quad (2.27)$$

elde edilir .

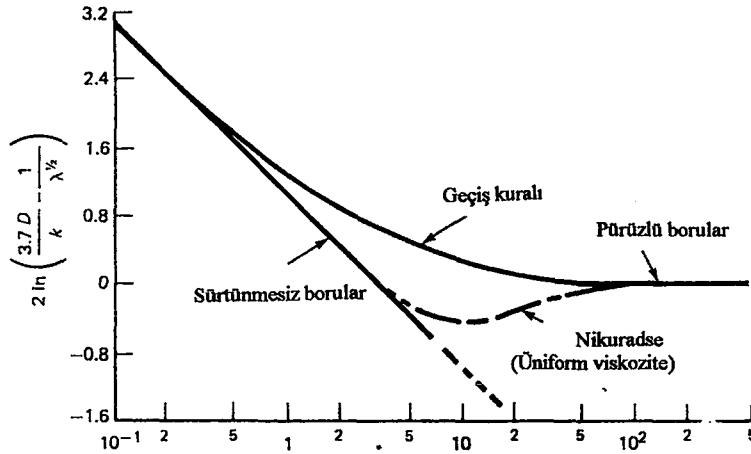
Burada c bir sabittir. Bu formül, Re 'nin $4000 < Re < 10^5$ arasındaki değerleri için deneysel olarak doğrulanmıştır. $Re > 10^5$ için, teorik varsayımların deneysel

sonuçlarla uyumlu olmasını sağlamak üzere, V 'nin üstel değerinin daha büyük bir değer olarak değiştirilmesi gerekmektedir.

1930 'da Nikuradse pürüzlü borular için bazı deneysel sonuçlar elde etmiş ve (Şekil 2.5) enine kesit boyunca hızları ölçmüştür; bu çalışma boru akışı için türbülans teorisinin geliştirilmesi açısından ayrı bir önem taşımaktadır.



Şekil 2.5. Nikuradse tarafından elde edilen $\lambda - Re$ eğrileri



Şekil 2.6. Geçiş bölgesindeki eğrilerin üniform viskozite ve gerçek borulardaki viskozite için karşılaştırılması

Nikuradse, boruların iç yüzeylerine kum taneleri yapıştırarak deneylerini tekrarlamış ve böylece pürüzlülüğün etkisi üzerinde çalışmıştır. k 'yı tanelerin yüksekliği olarak, mutlak pürüzlülük ve k/D ile verilen boyutsuz oran ise rölatif pürüzlülük olarak tanımlanmıştır. k/D faktörü, 1/130 ve 1/1014 arasında değişmektedir. Sonuçlar Şekil 2.5 'de gösterilmiştir. Laminer akım pürüzlülüğünden etkilenmemekte ve belirli bir Re sayısının üzerinde, sürtünme faktörü λ , Re 'den bağımsız, yalnızca borunun pürüzlülüğüne bağlı bir değer olmaktadır. Bu da yük kaybı h_f 'in, V^n ile orantılı olduğu anlamına gelir;

$$h_f = cV^n \quad (2.28)$$

Nikuradse 'nin bulduğu sonuçlar, Prandtl ve Karman'a pürüzlü ve cilalı borular için kendi türbülans ifadelerini oluşturma olanağı sağlamıştır. Temel problem ise Nikuradse'nin sonuçlarını gerçek boru pürüzlülüğüne göre ifade etmenin zorluğudur. Prandtl ve Karman'ın formülü, genel türbülans denklemi kullanılarak;

$$\tau = \rho l^2 \left(\frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (2.29)$$

l : karışım uzunluğu, ve boru hidroliği için aşağıdaki iki hipotez uygulanarak elde edilmiştir:

- (a) Kayma gerilmesi τ kesit boyunca sabittir ve cidardaki kayma gerilmesine eşit bir değere sahiptir. Cidara yakın laminer sınır tabakası içinde, hızda daha büyük değişimlerin gözlenmiş olması bu varsayımı güçlendirmektedir.
- (b) Karışım uzunluğu, cidardan olan mesafenin lineer bir fonksiyonudur. Bu da türbülansın cidarda mesafeyle arttığını gösteren deneysel gözlemlerle desteklenmektedir.

Bu iki hipotez cilalı boru için

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \ln \left(\frac{Re \lambda^{1/2}}{2.51} \right) \quad (2.30)$$

pürüzlü borular için

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \ln \left(3.7 \frac{D}{k} \right) \quad (2.31)$$

formüllerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Bu formüllerin uygulanma sınırları Şekil 2.6 'da verilmiştir, burada R^* pürüzlülük için verilen Re sayısıdır ve

$$R^* = Re \left(\frac{\lambda}{8} \right)^{1/2} \frac{k}{D} \quad (2.32)$$

ile verilmiştir.

Sonuç olarak Colebrook ve White, geçiş bölgesi (Şekil 2.6) için aşağıdaki ifadeyi vermişlerdir:

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = -2 \ln \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \lambda^{1/2}} \right) \quad (2.33)$$

$R^* = 0.3$ için, cilalı boru limitine ve $R^* = 60$ için pürüzlü boru limitine yaklaşır. Pratik olarak, farklı pürüzlülükler ve Re sayılarının geniş bir aralığı için, λ katsayısını elde etmek mümkündür. Tablo 2.1 'de, farklı borular için beklenen k mutlak pürüzlülüğü gösteren bazı deneysel sonuçlar verilmiştir. Sonuçlar aynı zamanda Şekil 2.7 'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.1 farklı malzemelerdeki borular için mutlak pürüzlülük değeri

| Boru tipi | Mutlak Pürüzlülük (cm.) |
|-----------------------------|-------------------------|
| Bakır, kurşun, kalay, cam | |
| asbest, çimento, plastik | düzgün |
| Bitümlü dökme demir | 0.003 |
| Beton kaplamalı dökme demir | 0.003 |
| Çelik kaplamasız | 0.003 |
| Çelik kaplamalı | 0.006 |
| Dökme demir kalay kaplamalı | 0.015 |
| Dökme demir kaplanmış | 0.015 |
| Kaplamasız dökme demir | 0.03 |
| Centrifugated beton | 0.06 |
| Kaba beton | 0.30 |

Moody, λ , Re ve k/D arasındaki ilişkiyi gösteren daha basitleştirilmiş genel bir diyagram (Şekil 2.8) hazırlamıştır.

2.1.3. Amprik ifadeler

Üstel tipteki amprik formüller, mühendislikte sık sık borulardaki yük kayıplarını tahmin etmek için kullanılmaktadırlar. Bu formüller

$$V = aD^n J_e^m \quad (2.34)$$

formundadırlar. Burada J_e , h_f/L ye eşit olan sürtünme eğimidir. a , n ve m 'nin değerleri deneylerden elde edilmiştir.

(2.34) denklemindeki terimleri anlamak için Darcy-Weisbach 'ın

$$J_e = \frac{h_f}{L} = \frac{\lambda V^2}{2gD} \quad (2.35)$$

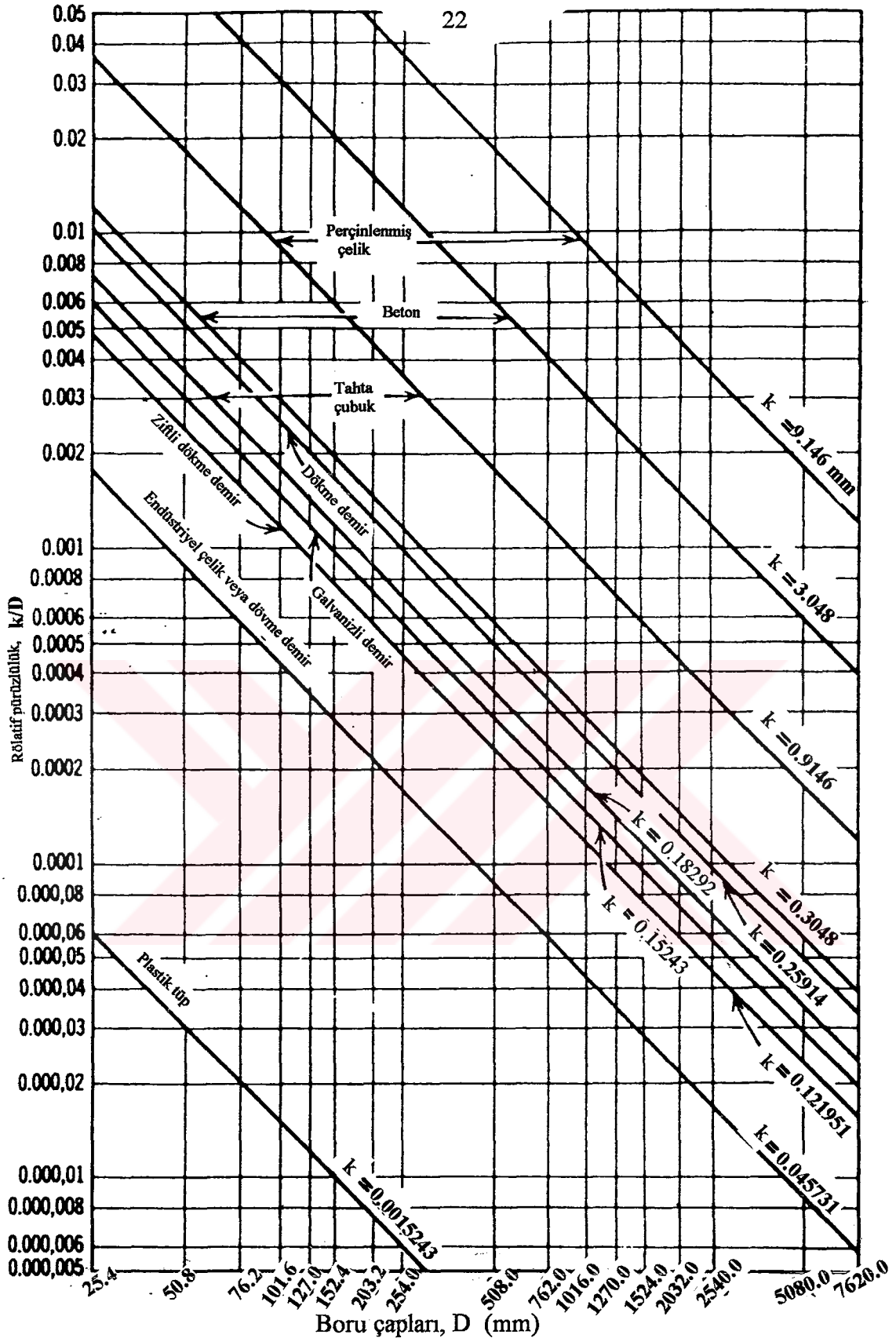
şeklinde yazılabilen formülünü gözönüne alalım. Bunu (2.34) deklemine uygularsak

$$V = aD^n \left(\frac{\lambda V^2}{2gD} \right)^m \quad (2.36)$$

elde ederiz. Bu da

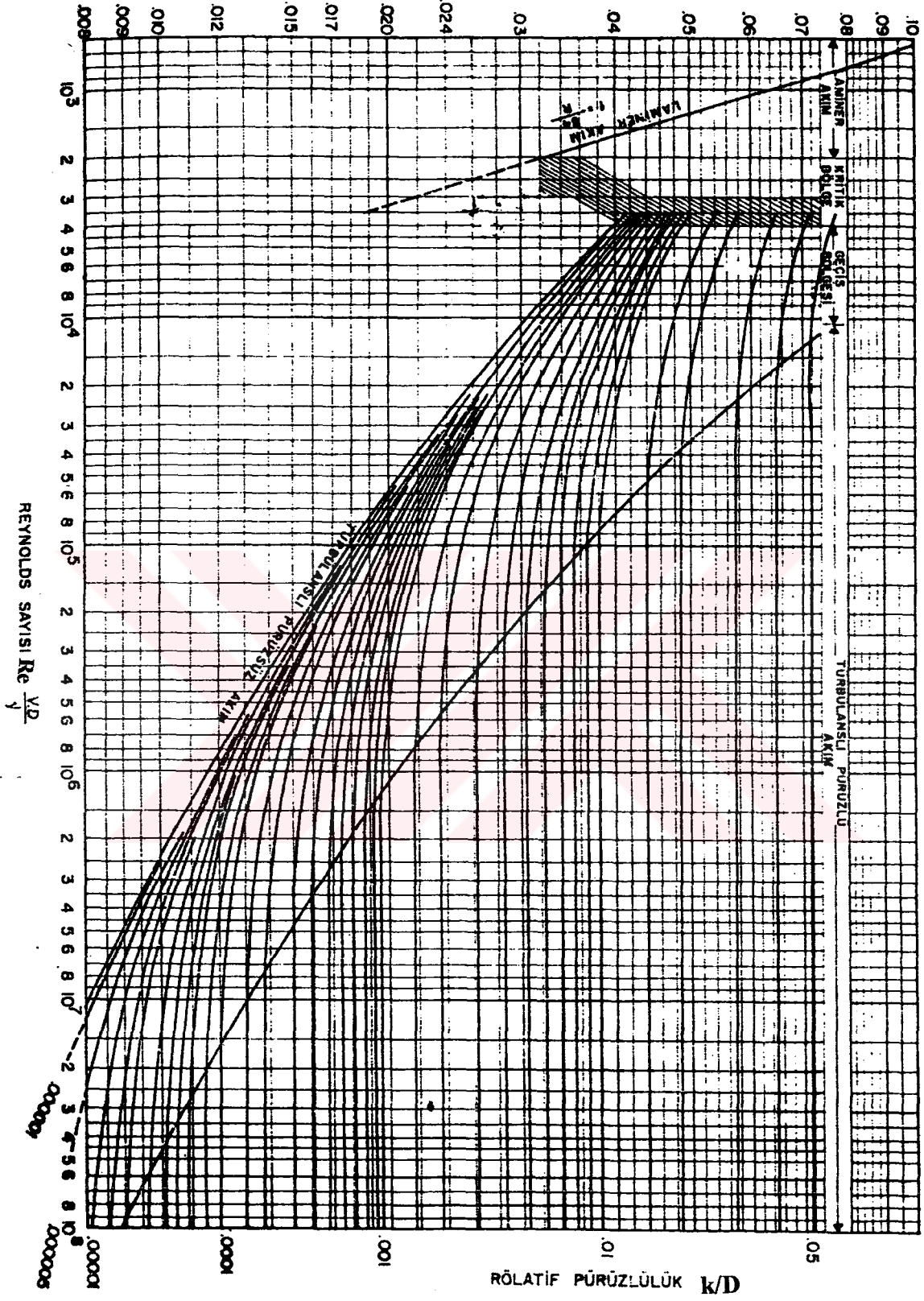
$$\lambda = 2g \frac{D^{1-1/m}}{a^{1/m V^{2-1/m}}} \quad (2.37)$$

halinde yazılabilir. Burada a , viskoziteye ve pürüzlülüğe bağlı olan bir katsayıdır. (2.37) denklemini çok genel bir denklemdir ve çeşitli boru amprik formüllerinin bulunmasına yardımcı olacaktır.



Şekil 2.7. Genel mühendislik malzemelerinden yapılmış borular için rölatif viskozite değerleri

$$\text{SÜRTÜNME KATSAYISI, } \lambda = \frac{hg}{\frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}}$$



Şekil 2.8. Sürtünme katsayısının hesabı için Moody diyagramı

2.1.3.a. Blasius Formülü

Blasius formülü, $4000 < Re < 10^5$ aralığında ve pürüzlü borular için geçerli olan bir ifadedir ve aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$J_e = \frac{0.316 V^2}{R_e^{0.25} 2gD}$$

$$= 0.316 \left(\frac{v}{DV} \right)^{0.25} \frac{V^2}{2gD} \quad (2.38)$$

2.1.3.b. Hazen - Williams Formülü

Geçiş bölgesi için uygulanan bu formül aşağıdaki gibidir:

SI (İngiliz sistemine) göre

Mertik sisteme göre

$$J_e = \frac{h_f}{L} = \frac{6,285}{D^m} \left(\frac{V}{c} \right)^1$$

$$V = 0,85 \cdot c \cdot R^{0,63} \cdot J_e^{0,54}$$

$$J_e = \left(\frac{V}{0,85 \cdot c \cdot \left(\frac{D}{4} \right)^{0,63}} \right)^{\frac{1}{0,54}} \quad (2.39)$$

6,285 sayısı yalnızca SI sistemi için geçerlidir.

c değeri pürüzlülüğe bağlıdır, bu değer bazı borular için aşağıdaki gibi verilmektedir :

$$C = \begin{cases} 140 & \text{tümüyle sürtünmesiz borular, asbest ç imento} \\ 130 & \text{oldukça sürtünmesiz borular, ç imento yeni dökme demir} \\ 120 & \text{firınlanmış ahşap, yeni kaynaklanmış çelik} \\ 110 & \text{cam haline konmuş kil, yeni perçinlenmiş çelik} \\ 100 & \text{dökme demir, eski} \\ 95 & \text{perçinlenmiş ç elk, eski} \\ 60-80 & \text{eski borular} \end{cases}$$

$$t = 1,852 \text{ ve } m = 1.166$$

$$V = 0.3545cJ_e^{0.54}D^{0.63} \quad (2.40)$$

olduğuna dikkat edilmelidir.

2.1.3.c. Manning Formülü

Genellikle kanallarda uygulanmasına rağmen bazen Manning formülü, pürüzlü boruların türbülans bölgelerinde de kullanılmaktadır.

Metrik sisteme göre

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J_e^{1/2} \quad (2.41)$$

Burada R hidrolik yarıçap ($=D/4$, dairesel boru için) ve n Manning pürüzlülük faktörüdür. Bu nedenle

SI 'ya göre

$$V = \frac{1}{n} 0.397D^{0.66} J_e^{0.50}$$

Metrik sistem

$$V = \frac{1}{n} \frac{D^{2/3}}{2,51} J_e^{1/2} \quad (2.42)$$

dir. n borunun pürüzlülüğüne göre değişmektedir (Tablo 2.2)

Tablo 2.2. Bazı borular için Manning pürüzlülük faktörünün ortalama değerleri

| Sınır malzemesi | Manning n |
|--------------------------------|-----------|
| Düzgün tahta | 0.012 |
| Düzgün olmayan tahta | 0.013 |
| Düzgün kalıptan çıkmış beton | 0.012 |
| Düzgün kalıptan çıkmamış beton | 0.014 |
| Dökme demir | 0.015 |
| Tuğla | 0.016 |
| Perçinli çelik | 0.018 |
| Oluklu metal | 0.022 |
| Anrosman | 0.025 |
| Toprak | 0.025 |
| Taşlı otlu toprak | 0.035 |
| Çakıl | 0.029 |

2.37 denkleminde yararlanarak ve aşağıdaki eşitlikler dikkate alınarak (SI 'ya göre)

$$a=20.397/n \quad , \quad t=0.666 \quad , \quad m=0.50,$$

$$\left(\frac{2g}{a^{1/m}}\right) = 124.5n^2,$$

$$1-t/m = -1/3, \quad 2-1/m=0$$

$$\lambda = 124.5 \frac{n^2}{D^{1/3}} \quad (2.43)$$

yazabiliriz. $m=0.5$ olduğunda artık akım Re sayısına bağımlı değildir. Bunun anlamı şudur; Manning 'in formülü, λ - Re diyagramında, Re eksenine paralel bir çizgi serisi olarak gözükecektir.

2.1.4. Formüllerin özeti

Buraya kadar verilmiş tüm ifadeler Tablo 2.3 ' de özetlenmiştir.

Tablo 2.3. Borulardaki sürtünme kayıpları için formüller

| İsim | Formül | Denklem sayısı | Re limitleri | R* limitleri |
|-------------------------------------|--|----------------|----------------------|--------------|
| Poiseuille | $h_f = \frac{32 \nu VL}{gD^2} \lambda = \frac{64}{Re}$ | 14 | <2000 | limit yok |
| Darcy - Weisbach | $h_f = \frac{\lambda LV^2}{2gD}$ | 16 | Genel | |
| Blasius | $\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}}$ | 25 | 4000-10 ⁵ | <0.3 |
| Cilalı rejim (Karman-Prandtl) | $\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \ln\left(\frac{Re \lambda^{1/2}}{2.51}\right)$ | 30 | >4000 | <0.3 |
| Pürüzlü rejim (Karman - Prandtl) | $\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \ln\left(\frac{3.7D}{k}\right)$ | 31 | >4000 | >60.0 |
| Geçiş rejimi (Colebrook-White) | $\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \ln\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \lambda^{1/2}}\right)$ | 33 | >4000 | limitsiz |
| Üstel (Hazen-Williams) | $V = 0.35456D^{0.63} J_e^{0.54} \quad (V = 0,85cR^{0,63} J_e^{-0,54})$ | 40 | >4000 | 0.3-60 |
| Üstel (Manning) | $V = \frac{0.497}{n} D^{2/3} J_e^{1/2}, \lambda \text{ denk. (43)}$ | 42 | >4000 | >40 |

2.2. Su Dağıtım Şebekelerinin Çözüm Yöntemleri

2.2.1. Giriş

Su şebekeleri hidrolik çözüm sorununun günümüzde tümüyle halledilmiş olduğu söylenemez. İki veya üç bin borudan oluşan bir su dağıtım sisteminin sayısal bilgisayar yardımıyla çözümü bugünkü koşullarda ekonomik olmamaktadır. Dolayısıyla, büyük şebekeler, belirli bir çap altında kalan tali borular gözönüne alınmayarak basite indirgenmekte ve ancak yaklaşık çözümleri elde edilebilmektedir. Bu nedenle günümüzdeki araştırmalar iki yönde yoğunlaşmaktadır.

- a) Daha az sayısal işlem ve bilgisayar belleği gerektiren yeni sayısal çözüm yöntemlerinin araştırılması, ve
- b) Mevcut çözüm yöntemleri ile en ekonomik bilgisayar kullanımı sağlayacak yeni programlama, kodlama teknikleri ve algoritmalarının geliştirilmesi

2.2.2. İskelet Sistemin Belirlenmesi

Su dağıtım şebekesi depo, boru, vana, pompa gibi elemanların belirli düğüm noktalarında birleşerek meydana getirdikleri bir sistemdir. Bu sistemin analizinde ilk etap, sistemi oluşturan elemanların fiziksel özellikleri ile sisteme giren ve sistemden çekilen debilerin belirlenmesidir. Sistem elemanlarının fiziksel özellikleri, borular için çap, uzunluk ve pürüzlülük, vana ve pompalar için karakteristik eğriler, depolar için hacim ve depo su seviyeleri ile belirlenir. Sisteme giren debiler, besleyici pompa veya depoların yer aldığı düğüm noktalarında, sistemden çekilen debiler ise boruların kesiştiği düğüm noktalarında tanımlanır.

Genellikle sistem analizinde ikinci etap, belirli bir çap altında kalan küçük boruların kaldırılması ile ana borulardan oluşan basite indirgenmiş bir iskelet sistemin seçimidir.

Şekil 2.9 'da gösterilen şebeke 150 mm.den küçük çaplı boruların kaldırılması ile oluşturulmuş, 150, 200 ve 250 mm. çaplı ana borulardan oluşan bir iskelet sistemdir. Bu sistemden çekilen debiler, Şekil 2.9 'da görüldüğü gibi üniform bir şekilde 36 adet düğüm noktasına dağıtılmıştır. Aynı şebekenin 150 mm. çaplı borularının gruplandırılması ve eşdeğer borular ile değiştirilmesi neticesinde oluşturulan daha basit bir iskelet sistemi Şekil 2.10 'da

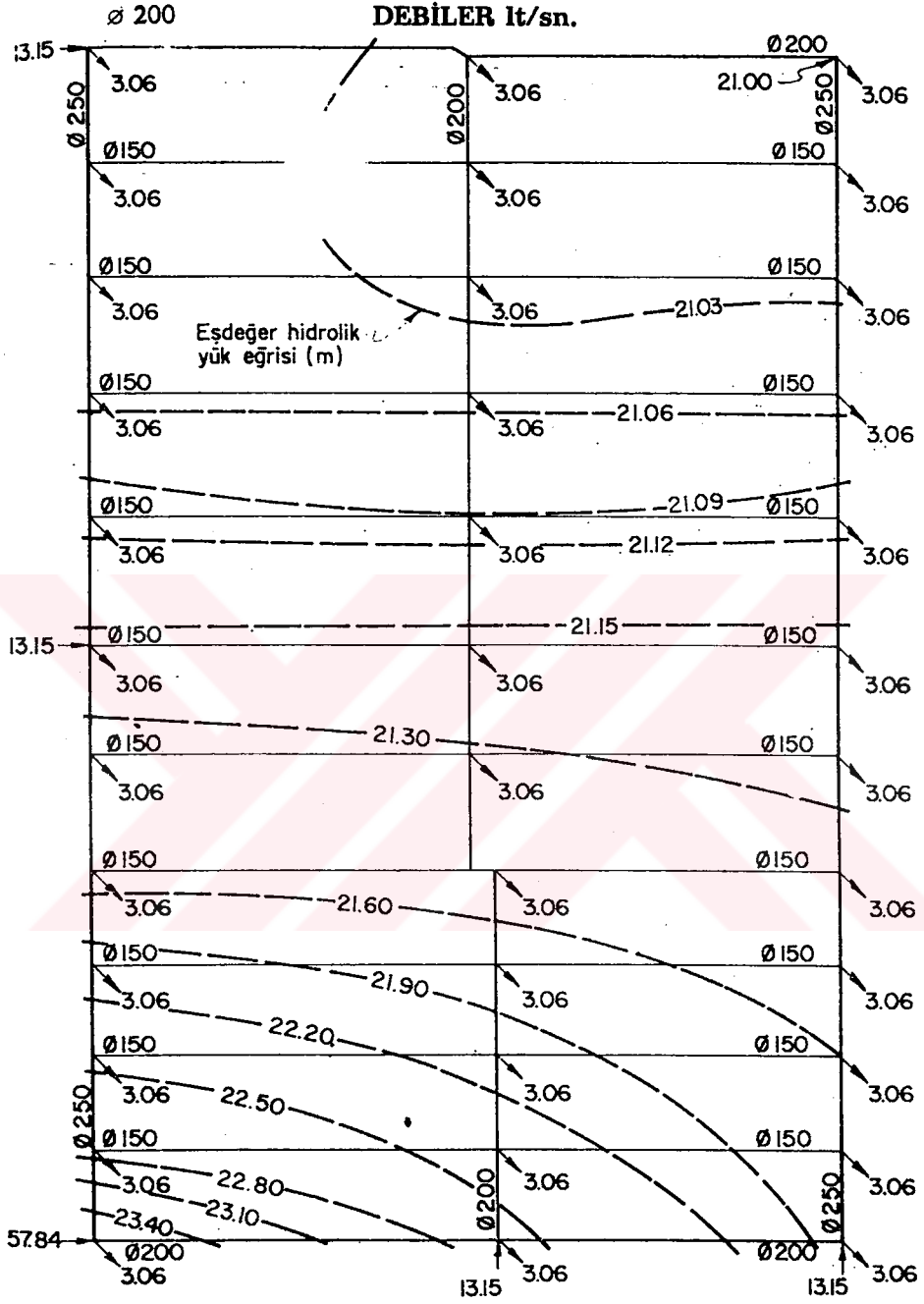
gösterilmiştir. Yine aynı şebekenin 150 mm. çaplı borularının tamamen kaldırılması ile Şekil 2.11 'de gösterilmiştir. Şekil 2.10 ve 2.11 'deki iskelet sistemlerden çekilen debiler sadece 9 adet düğüm noktasına dağıtılmıştır. Üç ayrı iskelet sistemin sayısal bilgisayar yardımıyla çözümü sonunda bulunan sistem eşdeğer hidrolik yük eğrileri Şekil 2.9, 2.10 ve 2.11 'de gösterilmiştir. Üç sistem için bulunan bu eşdeğer hidrolik yük eğrilerinin karşılaştırılmasından anlaşılacağı gibi; şebeke iskelet sistemi basitleştirildikçe çözümler gerçek değerlerden uzaklaşmaktadırlar. Bu nedenle gerek elektrik analog model, gerekse sayısal bilgisayar yardımıyla yapılan sistem analizinde, özellikle yakın büyüklükteki ana borulardan oluşan sistemlerin basite indirgenmesi ve iskeletin seçiminde dikkatli olmak gerekir.

2.2.3. Temel Denklemler ve Bilinmeyenler

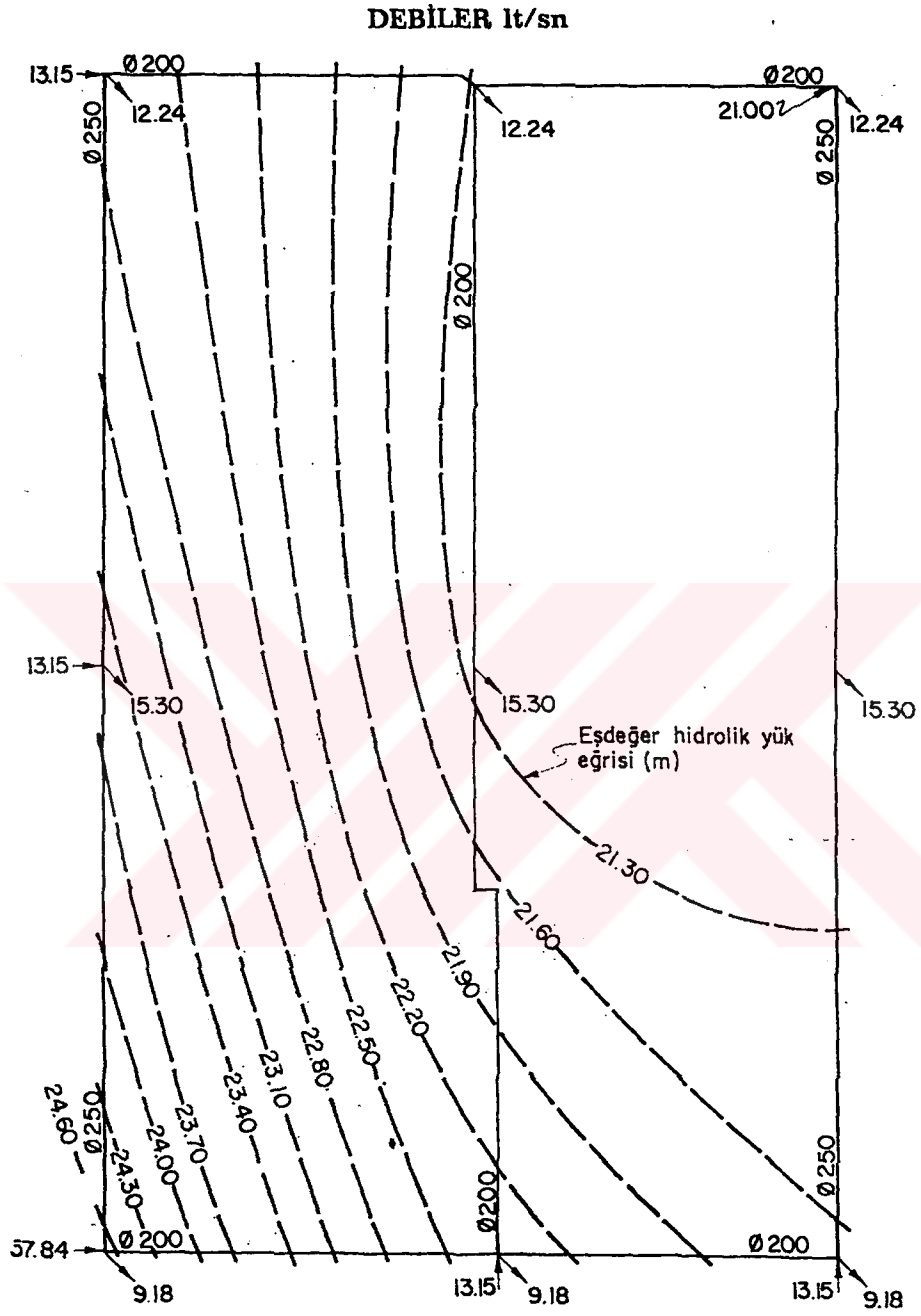
Bir su şebekesinin N adet düğüm noktası ve P adet elemandan (boru, vana, pompa) oluştuğunu varsayalım. Düğüm noktalarından E adedinde basıncın, sabit bir depo su seviyesi ile belirlendiği kabul edilirse bilinmeyenler;

- a) P eleman debisi
- b) E düğüm noktası debisi, ve
- c) $N-E$ düğüm noktasındaki hidrolik yüküdür.

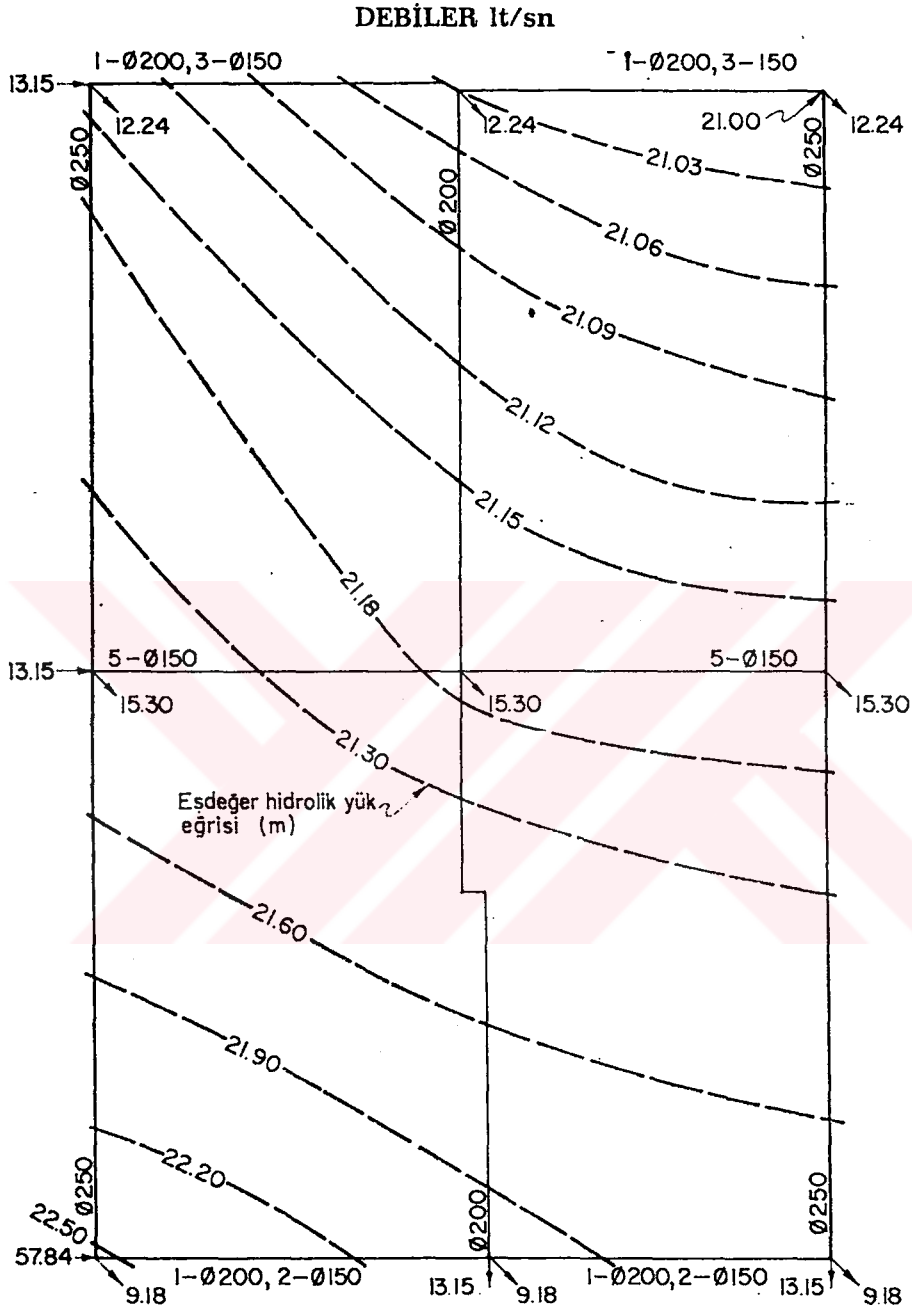
Çözüme başlarken dikkat edilecek husus, düğüm noktalarında basınç veya debiden birinin bilinmeyen olması gerektiğidir. Düğüm noktalarında basınç biliniyorsa ise, o noktadan şebekeye giren (veya çıkan) debi çözümden önce belirsizdir. Düğüm noktasından çekilmek istenen debi belirtildiği takdirde ise o noktadaki basınç bilinmeyendir.



Şekil 2.9. Su Dağıtım Sistemi Analizi (Ana borular)



2.10 Su dağıtım sistemi analizi (Ø 150 Borular gruplandırılmıştır.)



2.11 Su dağıtım Sistemi Analizi (Ø 150 Borular kaldırılmış)

Örnek olarak Şekil 2.12 'de gösterilen basit şebekede, düğüm noktası sayısı $N = 6$, olup $E = 2$ düğüm noktasında (5 ve 6) basınç, depo su seviyeleri (H_5 ve H_6) ile belirlenmiştir. Bu düğüm noktalarından şebekeye giren (veya çıkan) debiler (C_5 ve C_6) bilinmeyenlerdir. $N - E = 4$ düğüm noktasında (1,2,3 ve 4) ise debiler belirlenmiş, dolayısıyla hidrolik yükler bilinmeyenlerdir. Şebekede $P = 7$ eleman mevcut olup, bu elemanlardan 1 ve 2 numaralı düğüm noktalarını bağlayan eleman karakteristik eğrisi bilinen bir pompa diğer elemanlar ise uzunluk, çap ve pürüzlülüğü bilinen borulardır.

Toplam $P + E + (N - E) = P + N$ bilinmeyeninin çözümü için N düğüm noktasındaki süreklilik şartları

$$\sum q + C = 0 \quad (2.44)$$

ve P elemandaki debi (q) -yük kaybı (h) ilişkileri

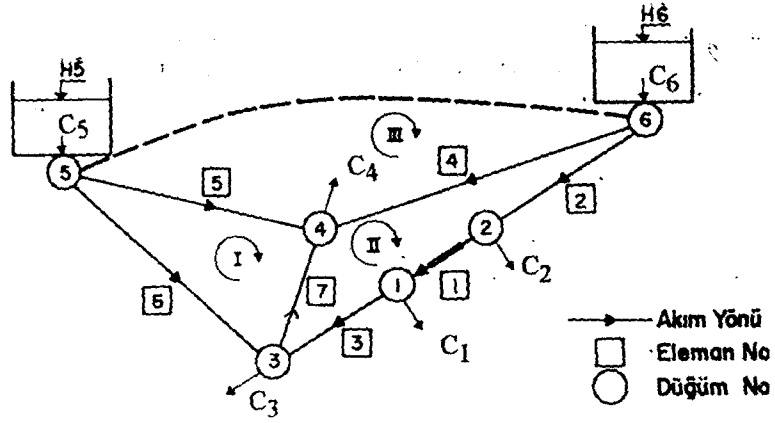
$$q = q(h) \text{ veya } h = h(q) \quad (2.45)$$

toplam $P + N$ denklem oluşturur.

Denklem 2.44 'deki ilk terim düğüm noktasına bağlı eleman debilerinin, q , cebirsel toplamı, ikinci terim ise düğüm noktasından şebekeye giren veya çekilen debi, C , olup düğüm noktasına giren debiler artı, çekilen debiler ise eksi işaretli olarak tanımlanır. Denklem 2.44; N adet lineer denklemden oluşan bir denklem takımındır (Şekil 2.12)

Elemanlardaki debi-yük kaybı ilişkisi (Denklem 2.45), borular için William-Hazen, Darcy-Weisbach veya Manning formüllerinden biri ile, pompalar için pompa karakteristik eğrisi ve vanalar için ise vana karakteristik eğrisi ile ifade edilir. Bu ilişkiler lineer olmadıklarından Denklem 2.45, adet nonlineer denklemden oluşan bir denklem takımındır (Şekil 2.12).

N düğüm noktası ve P elemandan oluşan bir şebekede $L = P - N + 1$ adet göz vardır. Hidrolik yük bilinen E düğüm noktasından birisi, diğer $E - 1$ noktadan herbiri ile hayali bir boru (pseudo-pipe) ile birleştirilerek $E - 1$ adet ilave göz oluşturulursa toplam göz sayısı $K = P + E - N$ olur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Örnek Şebeke ve Temel Denklemler

| | |
|---|---|
| Eleman sayısı | : P = 7 (6 boru, 1 pompa) |
| Düğüm Sayısı | : N = 6 |
| Hidrolik Yük Bilinen Düğüm Sayısı | : E = 2 |
| Göz Sayısı | : L = P - N + 1 = 2 |
| Hayali Borunun Meydana Getirdiği Göz Sayısı | : E - 1 = 1 |
| Toplam Göz Sayısı | : K = P + E - N = 3 |
| Bilinenler | : C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , H ₅ , H ₆ , R _i (K = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) (a ₀ , a ₁ , a ₂ , n) |
| Bilinmeyenler | : H ₁ , H ₂ , H ₃ , H ₄ , C ₅ , C ₆ , q _i (K = 1, , 7) |

Süreklilik Denklemleri:

$$q_1 - q_3 - C_1 = 0$$

$$q_2 - q_1 - C_2 = 0$$

$$q_3 + q_6 - q_7 - C_1 = 0$$

$$q_1 - q_3 - C_1 = 0$$

$$-q_5 - q_6 - C_5 = 0$$

$$-q_2 - q_4 - C_6 = 0$$

Eleman Denklemleri:

$$(H_1 - H_2) = a_0 + a_1 q_1 + a_2 q_1^2$$

$$(H_6 - H_2) = R_2 q_2^n$$

$$(H_1 - H_3) = R_3 q_3^n$$

$$(H_6 - H_4) = R_4 q_4^n$$

$$(H_5 - H_4) = R_5 q_5^n$$

$$(H_5 - H_3) = R_6 q_6^n$$

$$(H_3 - H_4) = R_7 q_7^n$$

Göz Denklemleri:

$$(H_5 - H_4) - (H_3 - H_4) - (H_5 - H_3) = 0$$

$$(H_6 - H_2) + (H_2 - H_1) + (H_1 - H_3) + (H_3 - H_4) - (H_6 - H_4) = 0$$

$$(H_5 - H_6) + (H_6 - H_4) - (H_5 - H_4) = 0$$

Her düğüm noktasında bir tek hidrolik yük tanımlandığından, her göz içinde belirli bir yön takip edilirse (örneğin saat akrebi yönü), eleman yük kayıplarının cebirsel toplamı sıfıra eşittir:

$$\sum_{\text{göz}} h = 0 \quad (2.46)$$

Göz denklemleri (Denklem 2.46, temel denklemlere (Denklem 2.44, 2.45) ilaveten su şebekelerinde sağlanması gereken diğer bir hidrolik koşuldur (Şekil 2.12).

2.3. BİLGİSAYAR YARDIMIYLA ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Su dağıtım sistemlerinin ardışık yaklaşımlarla sayısal çözüm yoluyla hidrolik analizinde üç ayrı yol izlenebilir:

- a) Düğüm Noktası Yaklaşımı
- b) Göz Yaklaşımı
- c) Lineer analiz Yaklaşımı

Her üç yaklaşımda da çözümler çeşitli sayısal metotlar kullanılarak elde edilebilir. Takibeden bölümlerde önce düğüm noktası yaklaşımının formülasyonu verilmiş, bu yaklaşımda kullanılan sayısal çözüm metotlarının ayrıntıları anlatılmış, daha sonra göz

yaklaşımının formülasyonu ve bu yaklaşımda kullanılan çözüm metotları açıklanmış ve nihayet Lineer Analiz Yaklaşımı formülasyonu ve çözüm metodu izah edilmiştir.

2.3.1. Düğüm Noktası Yaklaşımı

Bu yaklaşımla ana denklemler, düğüm noktasındaki süreklilik denklemleri (Denklem 2.44)

$$F_i = \sum_{k=1}^N q_{jk} + C_i = 0$$

$$j = 1, \dots, N \quad (2.47)$$

ve P elemandaki debi-yük kaybı ilişkisidir. (Denklem 2.45),

$$q_{jk} = f_{jk} (H_k - H_j) \quad (2.48)$$

Denklem 2.47 ve 2.48 de q_{jk} , k indisli düğüm noktasından j indisli düğüm noktasına giden debi olup, bu noktalar bir eleman ile birbirlerine bağlı değiller ise, $q_{jk}=0$ dir. C_j , düğüm noktasından şebekeye giren veya şebekeden çekilen debi olup, denklem 2.47 de, şebekeye giren debiler artı, çekilen debiler ise eksi işaretli konulmalıdır. H_k ve H_j , sırasıyla k ve j indisli düğüm noktalarındaki hidrolik yüküdür.

Elemanlardaki debi-yük kaybı ilişkisi, borular için, William-Hazen, Darcy-Weisbach veya Manning formüllerinden biri ile ifade edilebilir. Örneğin William-Hazen formülü kullanılarak, borular için Denklem 2.48;

$$q_{jk} = r_{jk} \frac{(H_k - H_j)}{|H_k - H_j|^{0,46}} \quad (2.48a)$$

formunu alır. Denklem 2.48 'da r_{jk} boru direncini tanımlamakta olup, değeri

$$r_{jk} = (0.279 * C * D^{2.63} * L^{-0.54})_{jk}$$

denklemleri ile bulunur. Burada C=boru William-Hazen katsayısı, D=boru çapı ve L= boru boyudur. Denklem 2.48a 'dan görüldüğü gibi, akım k düğüm noktasından j düğüm noktasına gittiği takdirde ($H_k > H_j$), $q_{jk} > 0$ dir.

Pompalar için Denklem 2.48 pompa karakteristik eğrisi

$$\begin{aligned} q_{jk} &= b_0 + b_1 (H_k - H_j)^{b_2} & H_k > H_j \\ q_{jk} &= 0 & H_j > H_k \end{aligned} \quad (2.48b)$$

Vanalar için ise, vana karakteristik eğrisi

$$q_{jk} = C_d \frac{(H_k - H_j)}{|H_k - H_j|^{0.5}} \quad (2.48c)$$

ile ifade edilebilir. Bu denklemlerde b_0 , b_1 , b_2 sabit katsayılar, C_d ise vana açıklığına bağlı bir katsayıdır. Örnek şebekenin çözümü için gerekli N süreklilik ve P eleman denklemleri Şekil 2.13 de verilmiştir.

Denklem 2.47 'deki eleman debileri q_{jk} , denklem 2.48a, 2.48b ve 2.48c yardımıyla yok edilerek,

$$F_j = \sum_{i=1}^N f_{ji} (H_i - H_j) + C_j = 0 \quad (2.49)$$

$$j = 1, \dots, N$$

süreklilik denklemleri, düğüm noktası hidrolik yük ve debileri cinsinden ifade edilirler.

Denklem 2.49, N adet nonlinear bir denklem takımı olup, N - E adet yük (H_k , $k = 1,$

..... N - E) ve E adet debi (C_k , $k=N-E+1, \dots, N$) toplam N adet bilinmeyen ihtiva etmektedir. Bu denklem takımının ardışık yaklaşımlarla ortak çözümünde, ilk aşamada N-E adet bilinmeyen yük ve daha sonra P+E adet bilinmeyen debi aşağıdaki şekilde bulunur (Şekil 2.13):

a) Bilinmeyen düğüm noktası hidrolik yük değerleri tahmin edilir,

$$H_j = \bar{H}_j$$

$$j = 1, \dots, N-E \quad (2.50)$$

b) Denklem takımı (Denklem 4.6) H_j tahmini değerleri civarında, birinci derece Taylor serisi açılımı ile doğrusallaştırılır.

$$F_j + \sum_{i=1}^{N-E} \frac{\partial F_j}{\partial H_k} \Delta H_k = 0 \quad (2.51)$$

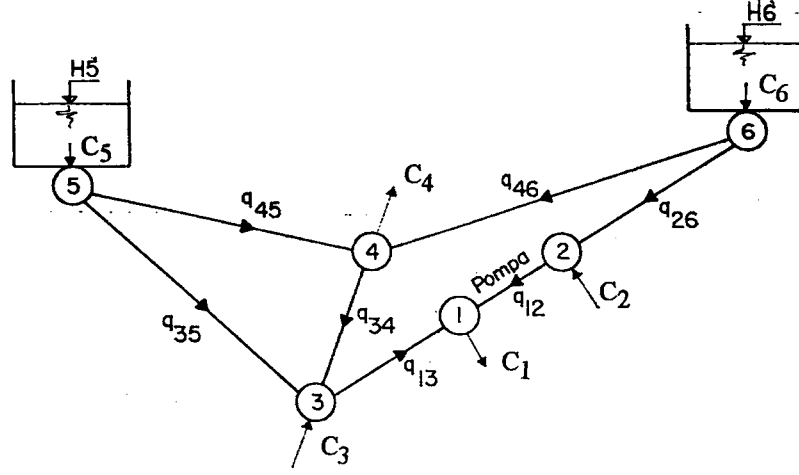
$$j=1, \dots, N-E$$

Bu denklem takımında süreklilik denklemleri F_j ve onun kısmi türevleri, $\partial F_j / \partial H_k$, bilinmeyenlerin tahmini değerleri, H_j kullanılarak bulunur.

c) Yukarıdaki doğrusal denklem takımı, N-E bilinmeyen ($\Delta H_j, j = 1, \dots, N-E$) için çözülerek, bilinmeyenlerin (a) numaralı adımda tahmin edilen değerleri düzeltilir;

$$H_j = \bar{H}_j + \Delta H_j \quad (2.52)$$

$$j = 1, \dots, N-E$$



Şekil 2.13 Düğüm Noktası Yaklaşımı, Örnek Şebeke ve Denklemler

Eleman Sayısı : $P=7$ (6 boru + 1 pompa)

Düğüm Sayısı : $N = 6$

Bilinenler : $C_1, C_2, C_3, C_4, H_5, H_6$

Bilinmeyenler : $H_1, H_2, H_3, H_4, C_5, C_6$

$q_{12}, q_{13}, q_{26}, q_{46}, q_{34}, q_{45}, q_{35}$

Süreklilik Denklemleri : $q_{ij} = -q_{ji}$

$$q_{12} + q_{13} - C_1 = 0$$

$$-q_{13} + q_{34} + q_{35} + C_3 = 0$$

$$-q_{35} - q_{45} + C_5 = 0$$

$$-q_{12} + q_{26} + C_2 = 0$$

$$q_{45} + q_{46} - q_{34} - C_4 = 0$$

$$-q_{46} - q_{26} + C_6 = 0$$

Eleman denklemleri :

$$q_{12} = b_0 + b_1 (H_2 - H_1)^b$$

$$q_{26} = r_{26} (H_6 - H_2) | H_6 - H_2 |^{-0.46}$$

$$q_{35} = r_{35} (H_5 - H_3) | H_5 - H_3 |^{-0.46}$$

$$q_{46} = r_{46} (H_6 - H_4) | H_6 - H_4 |^{-0.46}$$

$$q_{13} = r_{13} (H_3 - H_1) | H_3 - H_1 |^{-0.46}$$

$$q_{34} = r_{34} (H_4 - H_3) | H_4 - H_3 |^{-0.46}$$

$$q_{45} = r_{45} (H_5 - H_4) | H_5 - H_4 |^{-0.46}$$

d) Yukarıda bulunan değerler tahmini değerler kabul edilerek (b) ve (c) numaralı işlemler, düzeltme değerleri (ΔH_j) istenilen küçüklüklere erişinceye kadar tekrarlanır, ve hidrolik yükler bulunur.

e) Şebekenin bütün düğüm noktalarındaki hidrolik yükler bilindiğinden, P adet eleman debileri Denklem 2.48a, 2.48b, 2.48c yardımıyla elde edilir.

f) Bulunan eleman debileri yardımıyla, bilinmeyen düğüm noktası debileri, süreklilik denklemi, (Denklem 2.47) kullanılarak elde edilir.

$$C_i = - \sum_{j=1}^P q_{jk} \quad (2.53)$$

$$j = N-E+1, \dots, N$$

Örnek olarak Şekil 2.13'de gösterilen basit şebekenin, düğüm noktası yaklaşımı çözümü aşağıdaki şekilde yapılır:

a) Bilinmeyen hidrolik yükler tahmin edilir,

$$\bar{H}_1 = \bar{H}_1, \bar{H}_2 = \bar{H}_2, \bar{H}_3 = \bar{H}_3, \bar{H}_4 = \bar{H}_4 \quad (2.54)$$

b) Süreklilik denklemlerinin değerleri bulunur.

$$\begin{aligned} F_1 &= r_{13} (\bar{H}_3 - \bar{H}_1) |\bar{H}_3 - \bar{H}_1|^{-0.46} + b_0 + b_1 (\bar{H}_2 - \bar{H}_1)^2 - C_1 \\ F_2 &= -b_0 - b_1 (\bar{H}_2 - \bar{H}_1)^2 + r_{26} (\bar{H}_6 - \bar{H}_2) |\bar{H}_6 - \bar{H}_2|^{-0.46} + C_2 \\ F_3 &= -r_{13} (\bar{H}_3 - \bar{H}_1) |\bar{H}_3 - \bar{H}_1|^{-0.46} + r_{34} (\bar{H}_4 - \bar{H}_3) |\bar{H}_4 - \bar{H}_3|^{-0.46} \\ &\quad + r_{35} (\bar{H}_5 - \bar{H}_3) |\bar{H}_5 - \bar{H}_3|^{-0.46} + C_3 \end{aligned} \quad (2.55)$$

$$F_4 = -r_{34} (H_4 - H_3) |H_4 - H_3|^{-0.46} + r_{45} (H_5 - H_4) |H_5 - H_4|^{-0.46} \\ + r_{46} (H_6 - H_4) |H_6 - H_4|^{-0.46} - C_4$$

c) Süreklilik denklemlerinin kısmi türevlerinin değerleri bulunur.

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_1} = -0.54 r_{13} |H_3 - H_1|^{0.46} - b_1 \cdot b_2 (H_2 - H_1)^{b_2 - 1}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial H_2} = -b_1 \cdot b_2 (H_2 - H_1)^{b_2 - 1} + 0.54 r_{26} |H_6 - H_2|^{-0.46}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial H_3} = 0.54 [r_{13} |H_3 - H_1|^{0.46} + r_{34} |H_4 - H_3|^{0.46} + r_{35} |H_5 - H_3|^{0.46}]$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial H_4} = 0.54 [r_{34} |H_4 - H_3|^{0.46} + r_{45} |H_5 - H_4|^{0.46} + r_{46} |H_6 - H_4|^{0.46}]$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_2} = \frac{\partial F_2}{\partial H_1} = b_1 b_2 (\bar{H}_2 - \bar{H}_1)^{b_2 - 1}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_3} = \frac{\partial F_3}{\partial H_1} = 0.54 r_{13} |\bar{H}_3 - \bar{H}_1|^{0.46}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial H_4} = \frac{\partial F_4}{\partial H_3} = 0.54 r_{34} |\bar{H}_4 - \bar{H}_3|^{0.46} \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_4} = \frac{\partial F_4}{\partial H_1} = 0, \quad \frac{\partial F_2}{\partial H_3} = \frac{\partial F_3}{\partial H_2} = 0, \quad \frac{\partial F_2}{\partial H_4} = \frac{\partial F_4}{\partial H_2} = 0$$

e) Süreklilik denklemlerinin değerini sıfır yapmak için gerekli düzeltmeler, ..., aşağıdaki denklemin çözümü ile elde edilir.

$$\frac{\partial F_1}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_1}{\partial H_2} \Delta H_2 + \frac{\partial F_1}{\partial H_3} \Delta H_3 + \frac{\partial F_1}{\partial H_4} \Delta H_4 = -F_1 \quad (2.57)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_2}{\partial H_2} \Delta H_2 + \frac{\partial F_2}{\partial H_3} \Delta H_3 + \frac{\partial F_2}{\partial H_4} \Delta H_4 = -F_2$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_3}{\partial H_2} \Delta H_2 + \frac{\partial F_3}{\partial H_3} \Delta H_3 + \frac{\partial F_3}{\partial H_4} \Delta H_4 = -F_3$$

$$\frac{\partial F_4}{\partial H_1} \Delta H_1 + \frac{\partial F_4}{\partial H_2} \Delta H_2 + \frac{\partial F_4}{\partial H_3} \Delta H_3 + \frac{\partial F_4}{\partial H_4} \Delta H_4 = -F_4$$

f) Tahmin edilen hidrolik yükler düzeltilir;

$$H_1 = \bar{H}_1 + \Delta H_1, \quad H_2 = \bar{H}_2 + \Delta H_2, \quad H_3 = \bar{H}_3 + \Delta H_3, \quad H_4 = \bar{H}_4 + \Delta H_4$$

Eğer yük tashihleri seçilen bir toleransdan, ϵ , büyük ($\Delta H_j > \epsilon$) ise $\bar{H}_j = H_j$ yapılarak (b) numaralı işleme dönülür, küçük ($\Delta H_j < \epsilon$) ise H_j bulunmuş olur.

f) Eleman debileri q_{26} , q_{64} , q_{43} , q_{35} , q_{45} , q_{31} , William -Hazen formülü (Denklem 2.48a), ise pompa karakteristiği (Denklem 2.48b) kullanılarak bulunur.

g) Bilinmeyen düğüm noktası debileri, C_5, C_6 Denklem 2.53 kullanılarak bulunur:

$$C_5 = -q_{54} - q_{53}, \quad C_6 = -q_{62} - q_{64}$$

Yukarıda özetlenen ardışık yaklaşımlaral sayısal çözümde temel işlem N-E adet lineer denklemden oluşan bir denklem takımının (Denklem 2.51 veya örnek şebeke için Denklem 2.55) çözümüdür. Bu denklem takımı matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial H_1} & \frac{\partial F_1}{\partial H_k} & \frac{\partial F_1}{\partial H_{N-E}} \\ \frac{\partial F_j}{\partial H_1} & \frac{\partial F_j}{\partial H_k} & \frac{\partial F_j}{\partial H_{N-E}} \\ \frac{\partial F_{N-E}}{\partial H_1} & \frac{\partial F_{N-E}}{\partial H_k} & \frac{\partial F_{N-E}}{\partial H_{N-E}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta H_1 \\ \Delta H_j \\ \Delta H_{N-E} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} F_1 \\ F_j \\ F_{N-E} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

Denklem 2.56 da kısmi türevlerin oluşturduğu matris (Jakobian) örnek şebeke için bulunan değerlerin incelenmesinden (Denklem 2.55) göüleceği gibi simetriktr,

$$\frac{\partial F_j}{\partial H_k} = \frac{\partial F_1}{\partial H_j} \quad (2.59)$$

Ayrıca, düğüm noktaları p ve r birbirine bir eleman ile bağlı değİller ise (örnek şebekede 1 ve 4, 2 ve 3, 2 ve 4 numaralı düğüm noktaları gibi),

$$\frac{\partial F_p}{\partial H_r} = \frac{\partial F_r}{\partial H_p} = 0 \quad (2.60)$$

ve dolayısıyla büyük bir şebekede Jakobian'daki terimlerin çoğu sıfırdır.

Jakobian'ın yukarıda belirten iki özelliği, bilgisayar kullanımı ile çözümde büyük kolaylıklar sağlayabilir. Simetri özelliğinden dolayı Jakobian'ın sadece yarısını bilgisayar belleğine yerleştirmek, ve ekonomi sağlamak mümkündür. Ayrıca terimlerinin çoğunun sıfır olan dağınık Jakobian'ı, düğüm noktalarının uygun bir şekilde numaralanması ile, diyagonal terleştirilecek matrisi sıkıştırarak küçültmek mümkündür.

Denklem 2.56 in çözümüm için literatürde çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden şebeke çözümlerinde en çok kullanılan üç tanesi "Hardy Cross", "Newton-Cross" ve "Newton-Raphson" metotları olup, ayrıntıları takibeden bölümlerde verilmiştir.

2.3.1.1. Hardy Cross Metodu: Bu çözüm metodunda Denklem 2.58 'deki N-E adet

bilinmeyen ($\Delta H_j, j = 1, \dots, N - E$) yaklaşık değerleri birbirinden bağımsız teker teker bulunur. Bu yaklaşık çözüm metodunun temel ilkesi Denklem 2.58 deki Jakobian'ın diyagonal terimlerinin çok daha büyük

$$\left| \frac{\partial F_j}{\partial H_j} \right| \gg \left| \frac{\partial F_k}{\partial H_j} \right| \quad (2.61)$$

$k, j = 1, \dots, N - E$
 $k \neq j$

olduğu varsayımdır. Bu varsayımın geçerli olduğu hallerde Jakobian'ın diyagonal dışındaki terimleri ihmal edilerek, Denklem 2.58 bir bilinmeyenli, $N - E$ adet lineer denklem halinde basite indirgenebilir,

$$\frac{\partial F_j}{\partial H_j} \Delta H_j = -F_j$$

...

$$j = 1, \dots, N - E$$

ve bilinmeyenler teker teker elde edilir:

$$\Delta H_j = -\frac{F_j}{\partial F_j / \partial H_j} \quad (2.62)$$

Diğer bir deyişle düğüm noktalarındaki hidrolik yüklerin düzeltme değerleri bağımsız teker teker bulunur. Örneğin Şekil 2.48 de gösterilen basit şebekenin Hardy Cross yöntemi ile çözümünde ardışık yaklaşımlardaki düzeltme değerleri aşağıdaki denklemlerle bulunur:

$$\Delta H_1 = -\frac{F_1}{\partial F_1 / \partial H_1} \quad (2.63a)$$

$$\Delta H_2 = -\frac{F_2}{\partial F_2 / \partial H_2} \quad (2.63 b)$$

$$\Delta H_3 = -\frac{F_3}{\partial F_3 / \partial H_3} \quad (2.63c)$$

$$\Delta H_4 = -\frac{F_4}{\partial F_4 / \partial H_4} \quad (2.63d)$$

Denklem 2.63 daki F_1 , F_2 , F_3 , ve F_4 değerleri Denklem (2.55) $\partial F_1 / \partial H_1$, $\partial F_2 / \partial H_2$, $\partial F_3 / \partial H_3$ ve $\partial F_4 / \partial H_4$ değerleri ise Denklem (2.56) ile hesaplanır.

2.3.1.2 Newton-Cross Metodu: Bu metot Hardy Cross metodunun geliştirilmiş bir şeklidir. Bilinmeyen, ΔH_j , Denklem 2.62 ile bulunduktan sonra, H_j nin değeri hemen düzeltilme edilir: ($H_j = \bar{H}_j + \Delta H_j$), ve bir sonraki bilinmeyen, ΔH_{j+1} Denklem 2.62 ile elde edilmesinde, bu tashih edilmiş değer kullanılır. Örneğin Şekil 2.13 gösterilen basit şebekenin Newton-Cross yöntemi ile çözümünde, 1 numaralı düğüm noktasındaki yük düzeltme, ΔH_1 , Denklem 2.63a ile bulunduktan sonra, H_1 in değeri hemen tashih edilir. ($H_1 = \bar{H}_1 + \Delta H_1$) ve ΔH_2 nin Denklem 2.63b ile elde edilmesinde bu düzeltilmiş değer kullanılır.

2.3.1.3 Newton-Raphson Metodu: Bu metotta Denklem 2.58'in, N-E bilinmeyi, doğrudan Gauss-Jordan eliminasyon yöntemi ile ortak çözümü sonucu elde edilir. Diğer bir deyişle N-E adet düğüm noktasındaki bilinmeyen yük düzeltmeleri N-E adet lineer denklemin ortak çözümü sonucu bulunur. Örneğin Şekil 2.13'de gösterilen basit şebekenin Newton-Raphson yöntemi ile yük düzeltmeleri ΔH_1 , ΔH_2 , ΔH_3 , ΔH_4 dört bilinmeyenli dört denklemin (Denklem 2.57) ortak çözümü sonucunda bulunurlar. Doğrusal denklem takımlarının Gauss-Jordan eliminasyon yöntemi ile çözümünde kullanılacak hazır bilgisayar programları, hemen her bilgisayar merkezinde mevcut olup, bu programlardan yararlanılabilir.

2.3.2. Göz Yaklaşımı

Bu yaklaşımda, ilk aşamada "göz denklemleri" (Denklem 2.46) kullanılarak P eleman debisi bulunur. Bulunan eleman debileri yardımıyla E düğüm noktasındaki bilinmeyen debi

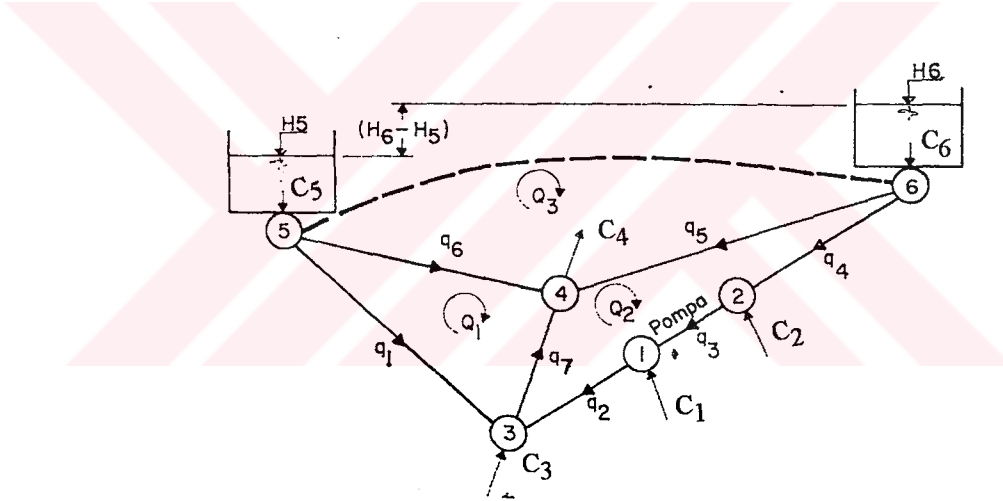
süreklilik (Denklem 2.44), ve N-E düğüm noktasındaki bilinmeyen hidrolik yük ise eleman denklemleri (Denklem 2.45) kullanılarak elde edilir.

Daha önce de belirtildiği gibi, N düğüm noktası ve P elemandan oluşan bir şebekede $L = P - N + 1$ adet göz vardır. Hidrolik yük bilinen E düğüm noktasından birisi diğer E-1 noktadan herbiri ile hayali bir boru (pseudo-pipe) ile birleştirilerek E - 1 tane ilave göz oluşturulursa toplam göz sayısı $K=P+E-N$ olur. Her göz içinde, belirli bir yön takip edilirse (örneğin saat akrebi yönü) eleman yük kayıpları cebirsel toplamı sifra eşittir.

$$G_k = \sum_{k \in k} h_k = 0 \quad (2.64)$$

$$k=1, \dots, \dots, \dots, K$$

burada, $k \in k$ toplamada k indisli elemanın, k indisli göz içinde olma koşulunu göstermektedir. Denklem 2.64'deki eleman yük kayıpları .. eleman debileri cinsinden ifade edilebilir.



Şekil 2.14 Göz noktası yaklaşımı, Örnek şebeke ve denklemler.

Eleman sayısı : $P=7$ (6 boru + 1 Pompa)

Düğüm sayısı : $N=6$

Hidrolik Yük Bilinen Düğüm Sayısı : $E = 2$

Göz sayısı : $K = P + E - N = 3$

Bilinenler : $C_1, C_2, C_3, C_4, H_5, H_6$

Bilinmeyenler : $H_1, H_2, H_3, H_4, C_5, C_6, q_2, k=1, \dots, \dots, \dots, 7$

Süreklilik Denklemleri :

$$\begin{aligned} -q_2 + q_3 + C_1 &= 0 & q_3 + q_6 + q_7 - C_4 &= 0 \\ -q_3 + q_4 + C_2 &= 0 & -q_1 - q_6 + C_3 &= 0 \\ q_1 + q_2 - q_7 + C_3 &= 0 & -q_4 - q_5 + C_6 &= 0 \end{aligned}$$

Göz Denklemleri :

$$\begin{aligned} H_5 - h_6 + h_7 + h_1 &= 0 & H_6 - H_5 - h_3 + h_6 &= 0 \\ H_6 - h_4 - h_3 - h_2 - h_7 + h_5 &= 0 \end{aligned}$$

Eleman Denklemleri :

$$h_3 = a_0 + a_1 q_3 + a_2 q_3^2 \quad h_k = R_k q_k |q_k|^{0,85} \quad k=1,2,4,5,6,7$$

Eleman Debileri :

$$\begin{aligned} q_1 &= \bar{q}_1 - Q_1 & q_2 &= \bar{q}_2 + Q_2 & q_3 &= \bar{q}_3 + Q_2 & q_4 &= \bar{q}_4 + Q_2 \\ q_5 &= \bar{q}_5 + Q_3 - Q_2 & q_6 &= \bar{q}_6 - Q_3 + Q_1 & q_7 &= \bar{q}_7 - Q_1 + Q_2 \end{aligned}$$

$$h_k = g(q_k) \quad (2.65)$$

$$k= 1, \dots, P$$

Denklem 2.65 borular için , William - Hazen formülü ;

$$\begin{aligned} h_k &= R_k q_k |q_k|^{0,85} \\ R_k &= (10,6L)/(C^{1,85} D^{4,87}) \end{aligned} \quad (2.66a)$$

pompalar için pompa karakteristik eğrisi ;

$$h_k = a_0 + a_1 |q_k| + a_2 q_k |q_k| \quad (2.66b)$$

Vanalar için vana karakteristik eğrisi ;

$$h_k = \frac{1}{c_d} q_k |q_k| \quad (2.66c)$$

ile ifade edilebilir. Bu denklemlerde ; q_k göz içinde seçilen yönde artı, ters yönde ise eksi işaretlidir.

Denklem 2.64 ve denklem 2.65 yardımıyla, göz denklemleri,

$$G_k = \sum_{kek} g(q_k) = 0 \quad (2.67)$$

$$k=1, \dots, K$$

Eleman debileri cinsinden elde edilebilir. İkinci aşamada P adet eleman debisi K adet göz debisi cinsinden aşağıdaki şekilde tanımlanabilir,

$$q_k = \bar{q}_k + \sum_{jek} Q_j \quad (2.68)$$

$$k=1, \dots, P$$

Denklem 2.68 de \bar{q}_k sadece düğüm noktası süreklilik şartını (denklem 2.44) sağlayacak şekilde seçilen eleman debileri, Q_j ise, ilaveten denklem 2.64 ünde sağlanabilmesi için elemanın yer aldığı j indisli gözde gerekli göz debisi (düzeltme debisi) dir. Bir eleman iki gözün ortak elemanı olabileceğinden q_k iki ayrı göz debisinin toplamı ile tashih edilebilir.

Denklem 2.68 yardımıyla, Denklem 2.67 K bilinmeyenli ($Q_j, j=1, \dots, K$) K adet nonlineer denklem haline dönüştürülebilir.

$$G_k = \sum_{kek} g\left(\bar{q}_k + \sum_{j \in K} Q_j\right) = 0 \quad (2.69)$$

$$k=1, \dots, K$$

Bu denklem takımının ardışık yaklaşımlarla ortak çözümü aşağıdaki şekilde yapılır.

a) Düğüm noktası süreklilik şartını (Denklem 2.44) sağlayacak şekilde eleman debileri ($\bar{q}_k, k=1, \dots, P$) seçilir.

b) Bilinmeyenlerin değerleri tahmin edilir,

$$Q_j = \bar{Q}_j \quad (2.70)$$

$$j=1, \dots, K$$

c) Denklem takımını \bar{Q}_j tahmini değerleri civarında, birinci derece Taylor serisi açılımı ile doğrusallaştırılır.

$$G_k + \sum_{j=1}^k \frac{\partial G_k}{\partial Q_j} \Delta Q_j = 0 \quad (2.71)$$

$$k=1, \dots, K$$

Bu denklem takımında G_k ve $\partial G_k / \partial Q_j$ tahmin edilen değerler \bar{Q}_j kullanılarak bulunur.

d) Yukarıdaki denklem takımının K bilinmeyen ($\Delta Q_j, j=1, \dots, K$) için çözülerek, bilinmeyenlerin (a) numaralı adımda tahmin edilen değerleri düzeltilir.

$$Q_j = \bar{Q}_j + \Delta Q_j \quad (2.72)$$

$$j=1, \dots, K$$

e) Yukarıda bulunan değerler tahmini değerler kabul edilerek (c) ve (d) numaralı işlemler tashih değerleri (ΔQ_j) istenilen küçüklüklere erişinceye kadar tekrarlanır.

f) Göz debileri bulunduktan sonra, P eleman debisi Denklem 2.68 kullanılarak hesap edilir. Hesaplanan eleman debileri 2.68 süreklilik denklemine konularak, E düğüm noktasındaki debi ve Denklem 2.66 ya konularak da N-E düğüm noktasındaki hidrolik yük bulunur.

Örnek olarak şekil 2.14 de gösterilen basit şebekenin, göz yaklaşımı ile çözümü aşağıdaki yöntem ile yapılır.

a) Düğüm noktalarında süreklilik sağlayacak şekilde eleman debileri ($\bar{q}_k, k=1, \dots, 7$) seçilir.

b) Göz debilerinin değerleri tahmin edilir.

$$\bar{Q}_j = \bar{Q}_j$$

$$j=1,2,3$$

c) Göz denklemlerinin değerleri bulunur:

$$\begin{aligned} G_1 &= -R_1 (\bar{q}_1 - \bar{Q}_1)^{1.85} - R_7 (\bar{q}_7 - \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)^{1.85} + R_6 (\bar{q}_6 + \bar{Q}_1 - \bar{Q}_3)^{1.85} \\ G_2 &= R_7 (\bar{q}_7 - \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)^{1.85} - R_5 (\bar{q}_5 - \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3)^{1.85} + R_4 (\bar{q}_4 + \bar{Q}_2)^{1.85} \\ &\quad + R_2 (\bar{q}_2 + \bar{Q}_2)^{1.85} + a_0 + a_1 (\bar{q}_3 + \bar{Q}_2) + a_2 (\bar{q}_3 + \bar{Q}_2)^2 \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$G_3 = H_3 - H_6 + R_5 (\bar{q}_5 + \bar{Q}_3 - \bar{Q}_2)^{1.85} - R_6 (\bar{q}_6 + \bar{Q}_1 - \bar{Q}_3)^{1.85}$$

d) Göz denklemlerinin kısmi türevlerinin değerleri bulunur.

$$\frac{\partial G_1}{\partial Q_1} = 1.85 [R_1 (\bar{q}_1 - \bar{Q}_1)^{0.85} + R_7 (\bar{q}_7 - \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)^{0.85} + R_6 (\bar{q}_6 + \bar{Q}_1 - \bar{Q}_3)^{0.85}]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_2}{\partial Q_2} &= 1.85 [R_7 (\bar{q}_7 - \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)^{0.85} - R_5 (\bar{q}_5 - \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3)^{0.85} + R_4 (\bar{q}_4 + \bar{Q}_2)^{0.85} + R_2 (\bar{q}_2 + \bar{Q}_2)^{0.85}] \\ &\quad + a_1 + 2a_2 (\bar{q}_3 + \bar{Q}_2) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial G_3}{\partial Q_3} = 1.85 [R_5 (\bar{q}_5 + \bar{Q}_3 - \bar{Q}_2)^{0.85} - R_6 (\bar{q}_6 + \bar{Q}_1 - \bar{Q}_3)^{0.85}] \quad (2.74)$$

$$\frac{\partial G_1}{\partial Q_2} = \frac{\partial G_2}{\partial Q_1} = -1.85R_7(\bar{q}_7 - \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2)^{0.85}$$

$$\frac{\partial G_1}{\partial Q_3} = \frac{\partial G_3}{\partial Q_1} = -1.85R_6(\bar{q}_6 + \bar{Q}_1 - \bar{Q}_3)^{0.85}$$

$$\frac{\partial G_2}{\partial Q_3} = \frac{\partial G_3}{\partial Q_2} = -1.85R_5(\bar{q}_5 - \bar{Q}_2 + \bar{Q}_3)^{0.85}$$

e) Göz denklemlerinin değerini sıfır yapmak için gerekli düzeltmeler ΔQ_j aşağıdaki denklemin çözümü ile bulunur.

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_1}{\partial Q_1} \Delta Q_1 + \frac{\partial G_1}{\partial Q_2} \Delta Q_2 + \frac{\partial G_1}{\partial Q_3} \Delta Q_3 &= -G_1 \\ \frac{\partial G_2}{\partial Q_1} \Delta Q_1 + \frac{\partial G_2}{\partial Q_2} \Delta Q_2 + \frac{\partial G_2}{\partial Q_3} \Delta Q_3 &= -G_2 \\ \frac{\partial G_3}{\partial Q_1} \Delta Q_1 + \frac{\partial G_3}{\partial Q_2} \Delta Q_2 + \frac{\partial G_3}{\partial Q_3} \Delta Q_3 &= -G_3 \end{aligned} \quad (2.75)$$

f) Tahmin edilen göz debileri düzeltilir :

$$Q_1 = \bar{Q}_1 + \Delta Q_1, Q_2 = \bar{Q}_2 + \Delta Q_2, Q_3 = \bar{Q}_3 + \Delta Q_3$$

Eğer $\Delta Q_j > \varepsilon$ ise eleman debileri bulunmuş olur ;

$$\begin{aligned} q_1 &= \bar{q}_1 - Q_1 & q_2 &= \bar{q}_2 + Q_2 & q_3 &= \bar{q}_3 + Q_2 & q_4 &= \bar{q}_4 + Q_4 \\ q_5 &= \bar{q}_5 + Q_3 - Q_2 & q_6 &= \bar{q}_6 - Q_3 + Q_1 & q_7 &= \bar{q}_7 - Q_1 + Q_2 \end{aligned}$$

g) Eleman debileri kullanılarak eleman yük kayıpları bulunur.

$$h_k = R_k q_k^{1.85}$$

$$k=1,2,4,5,6,7$$

$$h_3=a_0+a_1q_3+a_2q_3^2$$

Hidrolik yük bilinen düğüm noktalarından hareketle düğüm noktalarındaki yükler bulunur :

$$H_1=H_6-h_4-h_3, H_2=H_1+h_3, H_3=H_1-h_2, H_4=H_3-h_7$$

h) Süreklilik denklemleri kullanılarak, bilinmeyen düğüm noktası debileri bulunur.

$$C_5=-q_1-q_6, C_6=-q_5-q_4$$

Yukarıda özetlenen ardışık yaklaşımlarla sayısal çözümde temel işlem K adet lineer denklemlerden oluşan bir denklem takımının (Denklem 2.72) veya örnek şebeke için Denklem 2.75) çözümlüdür. Bu denklem takımı matris formunda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial G_1}{\partial Q_k} & \frac{\partial G_1}{\partial Q_K} \\ \frac{\partial G_j}{\partial Q_1} & \frac{\partial G_j}{\partial Q_k} & \frac{\partial G_j}{\partial Q_K} \\ \frac{\partial G_K}{\partial Q_1} & \frac{\partial G_K}{\partial Q_k} & \frac{\partial G_K}{\partial Q_K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta Q_j \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} G_1 \\ G_j \\ G_k \end{bmatrix} \quad (2.76)$$

Denklem 2.76 de kısmi türevlerden oluşan matris (jakobian) örnek şebeke için bulunan değerlerin incelenmesinden (Denklem 2.74) görüleceği gibi simetriktir,

$$\frac{\partial G_j}{\partial Q_k} = \frac{\partial G_k}{\partial Q_j} \quad (2.77)$$

Ayrıca, p ve r numaralı gözlerin ortak bir elemanı yok ise,

$$\frac{\partial G_p}{\partial Q_r} = \frac{\partial G_r}{\partial Q_p} = 0 \quad (2.78)$$

ve dolayısıyla büyük bir şebekede Jakobian' daki terimlerin çoğu sıfırdır.

Jakobianın bu iki özelliği, düğüm noktası yaklaşımı ile çözümlerde belirtildiği gibi, bilgisayar ile çözümde büyük kolaylık sağlayabilir.

Düğüm noktası yaklaşımında anlatıldığı gibi, lineer bir denklem takımı olan Denklem 2.76 , 'Hardy Cross', 'Newton-Cross' veya 'Newton-Raphson' metotlarından biri ile çözülebilir.

2.3.2.1. Hardy Cross Metodu : Bu çözüm metodunda Denklem 2.76, Jakobian diyagonal terimlerin diğer terimlerden çok daha büyük olduğu varsayımı ile;

$$\left| \frac{\partial G_j}{\partial Q_j} \right| \gg \left| \frac{\partial G_j}{\partial Q_k} \right| \quad (2.79)$$

$$k, j=1, \dots, K$$

$$k \neq j$$

tek bilinmeyenli K adet lineer denklem basite indirgenir.

$$\frac{\partial G_j}{\partial Q_j} \Delta Q_j = -G_j \quad (2.80)$$

$$j=1, \dots, K$$

ve K bilinmeyenin ($\Delta Q_j, j=1, \dots, K$) değeri teker teker bulunur;

$$\Delta Q_j = -\frac{G_j}{\partial G_j / \partial Q_j} \quad (2.81)$$

Diğer bir deyişle göz debileri birbirinden bağımsız teker teker hesaplanır. Örneğin

Şekil 2.14 de gösterilen basit şebekenin Hardy Cross yöntemi ile çözümünde ardışık yaklaşımlardaki düzeltme değerleri aşağıdaki denklemlerle elde edilir.

$$\Delta Q_1 = -\frac{G_1}{\partial G_1 / \partial Q_1} \quad (2.82a)$$

$$\Delta Q_2 = -\frac{G_2}{\partial G_2 / \partial Q_2} \quad (2.82b)$$

$$\Delta Q_3 = -\frac{G_3}{\partial G_3 / \partial Q_3} \quad (2.82c)$$

Denklem 2.82 'deki G_1, G_2 ve G_3 değerleri Denklem 2.73, $\partial G_1 / \partial Q_1, \partial G_2 / \partial Q_2$ ve $\partial G_3 / \partial Q_3$ değerleri ise Denklem 2.74 kullanılarak hesaplanır.

2.3.2.2. Newton-Cross Metodu : Hardy Cross metodunun geliştirilmiş bir şekli olan bu çözüm metodunda, bilinmeyen ΔQ_j Denklem 2.81 ile bulunduktan sonra, Q_j nin değeri hemen düzeltme yapılır ($Q_j = Q_j + \Delta Q_j$), ve düzeltme yapılan bu değer bir sonraki bilinmeyen (ΔQ_{j+1}) Denklem 2.81 ile bulunmasında kullanılır. Örneğin Şekil 2.14 de gösterilen basit şebekenin çözümünde, 1 numaralı göz debisi düzeltmesi, ΔQ_1 , Denklem 2.82a ile bulunduktan sonra, Q_1 in değeri hemen düzeltilir ($Q_1 = Q_1 + \Delta Q_1$) ve düzeltilmiş bu değer ΔQ_2 'nin Denklem 2.82b ile bulunmasında kullanılır. Aynı şekilde Q_1 ve Q_2 nin düzeltilmiş değerleri, ΔQ_3 'nin Denklem 2.63c ile elde edilmesinde kullanılır.

2.3.2.3. Newton-Raphson Metodu : Bu metotta Denklem 2.76 daki K bilinmeyen ($\Delta Q_j, j=1, \dots, K$), Gauss-Jordan eliminasyon yöntemi ile ortak çözüm sonucu elde edilir. Diğer bir deyişle, K adet göz debisi düzeltmesi, K adet lineer denklem takımının ortak çözümü sonucu bulunur. Örneğin Şekil 2.14 de gösterilen basit şebekenin göz debisi düzeltmeleri $\Delta Q_1, \Delta Q_2$ ve ΔQ_3 üç bilinmeyenli üç denklemin ortak çözüm sonucu bulunur.

2.3.3. Lineer Analiz Yaklaşımı:

Bu yaklaşımla ilk aşamada P adet eleman denklemleri, Denklem 2.66, lineer denklemlere dönüştürülerek basite indirgenir. Borular için William-Hazen formülü (Denklem 2.66a);

$$h_k = R_k q_k^{0.85} \cdot q_k \quad (2.83a)$$

pompalar için, pompa karakteristik eğrisi (Denklem 2.66b);

$$h_k = a_0 + a_1 q_k + a_2 q_k^2 \quad (2.83b)$$

ve vanalar için vana karakteristik eğrisi (Denklem 2.66c);

$$h_k = \frac{1}{C_d} c_k q_k \quad (2.83c)$$

halinde basite indirgenerek P adet lineer denklem elde edilir. Bu denklemlerde \bar{q}_k , düğüm noktası süreklilik şartını sağlayacak şekilde seçilen tahmini eleman debileri, \bar{q}_k ise bilinmeyen gerçek eleman debileridir. Dolayısıyla Denklem 2.83 ancak tahmini yük kayıplarını, h_k , ifade etmekte olup, gerçek yük kayıpları değerlerinin \bar{q}_k değerine yaklaşması sonucu elde edilebilir.

Lineer eleman denklemleri (Denklem 2.83) yardımıyla (Denklem 2.67) $K=P+E-N$ adet lineer denklem haline dönüştürülebilir;

$$L_k = \sum_{k \in k} g(q_k) = 0 \quad (2.84)$$

$$k=1, \dots, K$$

Denklem 2.84, N-E düğüm noktasındaki lineer süreklilik denklemi,

$$F_j = \sum_{k \in j} q_k + C_j = 0 \quad (2.85)$$

$$j=1, \dots, N-E$$

ile birlikte P adet bilinmeyen $(q_k, k=1, \dots, p)$ çözümü için gerekli $(P+E-N)+(N-E)=P$ adet denklem oluşturur. Bu denklem takımının Gauss-Jordan eliminasyon metodu ile ortak çözümü sonucu bulunan eleman debileri tahmini debiler kabul edilerek,

$$\bar{q}_k = q_k \quad (2.86)$$

$$k=1, \dots, P$$

ardışık yaklaşımlarla çözüme devam edilir. İki ardışık yaklaşımda bulunan eleman debileri arasındaki fark belirli bir toleranstan (t) küçük olunca,

$$\bar{q}_k - q_k < t \quad (2.87)$$

gerçek eleman debileri bulunmuş olur. Bulunmuş olan eleman debileri yardımıyla Denklem 2.66 kullanılarak bilinmeyen düğüm noktası hidrolik yükleri ve süreklilik denklemi;

$$F_j = \sum_{k \in j} q_k + C_j = 0 \quad (2.87)$$

$$j=N-E, \dots, N$$

kullanılarak bilinmeyen düğüm noktası debileri ($C_j, j=N-E, \dots, N$) bulunur.

Örnek olarak Şekil 2.14 de gösterilen basit şebekenin lineer teori yaklaşımı ile çözümü aşağıdaki yöntem ile yapılır.

(a) Düğüm noktalarında süreklilik sağlayacak şekilde tahmini eleman debileri ($q_k, k=1, \dots, 7$) seçilir.

(b) Eleman denklemleri basit lineer forma (Denklem 2.83) indirgenir:

$$\begin{aligned} h_3 &= a_0 + a_1 q_3 + a_2 q_3^3 \\ h_k &= R_k q_k^{0.85} \cdot q_k \\ k &= 1, 2, 4, 5, 6, 7 \end{aligned} \quad (2.88)$$

(c) Denklem 2.88 kullanılarak üç göz için göz denklemleri (Denklem 2.84)

$$L_1 = -R_1 q_1^{0.85} q_1 - R_7 q_7^{0.85} q_7 - R_6 q_6^{0.85} q_6 \quad (2.89)$$

$$L_1 = -R_7 q_7^{0.85} q_7 - R_5 q_5^{0.85} q_5 + R_4 q_4^{0.85} q_4 + R_2 q_2^{0.85} q_2 + a_0 + a_1 q_1 + a_2 q_1^3$$

$$L_3 = H_5 - H_6 + R_5 q_5^{0.85} - R_6 q_6^{0.85} \cdot q_6$$

ve düğüm debileri (C_1, C_2, C_3, C_4) bilinen düğüm noktalarındaki dört lineer süreklilik denklemini;

$$\begin{aligned} - q_2 + q_3 + C_1 &= 0 \\ - q_3 + q_4 + C_2 &= 0 \\ q_1 + q_2 - q_7 + C_3 &= 0 \\ q_5 + q_6 + q_7 - C_4 &= 0 \end{aligned}$$

(2.90)

ortaklaşa çözülerek eleman debileri $q_k, k=1, \dots, 7$ bulunur.

(d) Bulunan eleman debileri q_k ile tahmini eleman debileri \bar{q}_k arasındaki fark, tariflenmiş bir toleranstan büyük ise ($q_k - \bar{q}_k > t$);

$$\begin{aligned} q_k &= \bar{q}_k \\ k &= 1, \dots, 7 \end{aligned}$$

kabul edilerek (c) numaralı işlem $q_k - \bar{q}_k < t$ oluncaya kadar tekrarlanır.

(e) Eleman debileri kullanılarak, elemanlardaki yük kayıpları bulunur.

$$\begin{aligned} h_k &= R_k q_k^{1.85} \\ k &= 1, 2, 4, 5, 6, 7 \end{aligned}$$

(2.91)

$$h_3 = a_0 + a_1 q_3^2 + a_2 q_3 q_3$$

ve hidrolik yük bilinen düğüm noktalarından (H_5 ve H_6) hareketle düğüm noktalarındaki yükler bulunur.

$$H_1 = H_6 - h_4 - h_3$$

$$H_2 = H_1 + h_3$$

$$H_3 = H_1 - h_2$$

$$H_4 = H_3 - h_7$$

(2.92)

(f) Süreklilik denklemleri yardımıyla bilinmeyen düğüm debileri (C_5+C_6) elde edilir.

$$\begin{aligned} C_5 &= -q_1 - q_6 \\ C_6 &= -q_5 - q_4 \end{aligned} \quad (2.93)$$

2.3.4. Yaklaşım ve Çözüm Metotlarının Karşılaştırılması

2.3.4.1. Yaklaşımların Karşılaştırılması: Literatürde yaklaşımların sistematik bir karşılaştırmasına pek fazla rastlanmamaktadır. Özetle, düğüm noktasında temel işlemler N-E adet düğüm noktasındaki hidrolik yükleri tahmin etmek ve ikinci aşamada N-E adet nonlineer bir denklem takımının ortak çözümünü elde etmektir. Göz yaklaşımında ilk aşamada P adet eleman debisi tahmin etmek, ikinci aşamada $K=P+E-N$ adet nonlineer bir denklem takımının ortak çözümünü elde etmektir. Lineer yaklaşımında ilk aşamada P adet eleman debisi tahmin etmek, ikinci aşamada P adet lineer denklem takımının ortak çözümünü elde etmektir.

Nonlineer olmayan denklem takımlarının çözümü ardışık yaklaşımlar ile yapıldığı için, ilk aşamada tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerden çok farklı olmaması gerekir. Bu nedenle bütün yaklaşımların birinci aşamasında bilinmeyenlerin değerlerini tahmin etmek ilk bakışta önemli bir işlem niteliğinde gözükmez ise de, çözüme ulaşabilmek açısından temel bir işlemdir.

Düğüm noktası hidrolik yükleri, genellikle eleman debilerine oranla gerçek değerlere daha yakın tahmin edilebilir. Bu nedenle düğüm noktası yaklaşımı ile çözüme, daha az sayıda ardışık yaklaşım yapılarak, ulaşılabilir. Ancak, göz ve lineer analiz yaklaşımı ile çözümde gözlerin en uygun bir şekilde tanımı ve eleman debilerinin tahmini değerlerinin seçimi için yeni algoritmalar (örneğin, En Küçük Dirençli Ağaç Algoritması, 'Minimum Resistance Spanning Tree') geliştirilmektedir. Bu algoritmalar yardımıyla göz ve lineer analiz yaklaşımlarında tahmini eleman debilerinin seçimi sorunu önemli ölçüde çözülmüştür.

Düğüm noktası, göz ve lineer analiz yaklaşımlarında ikinci temel işlem sırasıyla N-E, $P+E-N$ ve P adet denklemin ortak çözümünün elde edilmesidir. Bir su dağıtım sisteminde,

$$(P+E-N) < (N-E) < P \quad (2.94)$$

olduğundan, ortak çözüm elde edilmesi gerekli denklem sayısı göz yaklaşımında en az, lineer analiz yaklaşımında en çok ve düğüm noktası yaklaşımında ise bu iki sayı arasındaki fark kadardır. Örneğin Şekil 2.13 veya 2.14 de gösterilen basit şebekede ortak çözümü elde edilmesi için gerekli denklem sayısı ; göz yaklaşımında üç, lineer analiz yaklaşımında yedi, düğüm noktası yaklaşımında ise dördür.

Nonlinear olmayan denklem takımlarının sayısal yöntemlerle çözülmesinde genellikle denklem sayısı arttıkça gerekli ardışık yaklaşım sayısı ve gerekli bilgisayar belleği miktarı artar. Özellikle büyük şebekelerin çözümünde en az sayıda denklemin ortak çözümünü gerektiren göz yaklaşımının kullanılması uygun ve bazı durumlarda zorunlu görülmektedir.

2.3.4.2. Çözüm Metotlarının Karşılaştırılması: Literatürde Hardy Cross, Newton-Cross, Newton-Raphson ve Lineer Analiz yaklaşımında kullanılan sayısal çözüm metotlarının sistematik bir karşılaştırmasına pek fazla rastlanmamaktadır. Hardy Cross ve Newton-Cross metotlarında, her ardışık yaklaşımda ortak çözümü gerektiren denklemlerin basite indirgenerek teker teker yaklaşık çözümüne karşın, Newton-Raphson ve Lineer Analiz metotlarında tüm denklemler ortaklaşa çözülmektedir. Bu nedenle Hardy Cross ve Newton-Cross metotları ile denklemlerin çözümü Newton-Raphson ve Lineer Analiz metotlarına oranla çok daha basittir ve çok daha az sayısal işlem gerektirir. Ancak, Hardy Cross ve Newton Cross metotlarında çözüme ulaşmak için gerekli ardışık yaklaşımların sayısı Newton-Raphson ve Lineer Analiz metotlarına oranla çok daha fazladır. Aynı şebekenin değişik metotlarla çözümünde Wood tarafından gözlenen ardışık yaklaşım sayısı aşağıda gösterilmiştir.

| Çözüm Metodu | Ardışık Yaklaşım Sayısı |
|----------------|-------------------------|
| Hardy Cross | 635 |
| Newton-Cross | 151 |
| Newton-Raphson | 24 |
| Lineer Analiz | 4 |

Hardy Cross ve Newton-Cross metotları ile çözümde, her ardışık yaklaşımda takriben aynı miktarda sayısal işlem yapılır. Bu husus gözönüne alındığında, yukardaki tablodan izlenebileceği gibi, nihai çözüme ulaşmak için Hardy Cross metodu Newton Cross metoduna oranla takriben dört misli fazla sayısal işlem yapılmasını ve dolayısıyla dört misli fazla bilgisayar kullanımını gerektirmektedir.

Lineer Analiz metodu ile çözümde Newton-Raphson metoduna oranla, her ardışık yaklaşımda, bir miktar daha fazla sayısal işlem yapılmasına karşın tabloda görüldüğü gibi gerçek çözüme ulaşmak için gerekli ardışık yaklaşımların sayısı, Newton-Raphson metoduna oranla çok daha azdır. Bu nedenle Lineer Analiz metodunun Newton-Raphson metoduna oranla daha az toplam sayısal işlem ve dolayısıyla bilgisayar kullanımı gerektireceği anlaşılmaktadır.

Hardy Cross, Newton-Cross ve Newton-Raphson metotlarının sistematik bir karşılaştırmasını yapan Endres, Newton-Cross metodunun Hardy Cross ve Newton-Raphson metotlarına oranla az bilgisayar kullanımı gerektirdiğini gözlemiştir. Newton-Cross ve Lineer Analiz metotlarının gerekli sayısal işlem ve bilgisayar kullanımı yönünden bir karşılaştırmasına ise literatürde rastlanmamaktadır.

Çözüm metodunun seçiminde gözönüne alınması gereken diğer önemli bir nokta da, bilgisayar belleği miktarıdır. Hardy Cross ve Newton-Cross metotları ile çözüm için gerekli bilgisayar belleği şebeke eleman sayısı, P , ile takriben doğru orantılıdır. Newton-Cross ve Lineer Analiz metotlarında ise gerekli bilgisayar belleği, P nin karesi ile orantılıdır. Bu nedenle bilhassa büyük şebekelerin çözümünde Newton-Raphson ve Lineer Analiz metotları diğerlerine oranla çok daha fazla bilgisayar belleği gereksindirir.

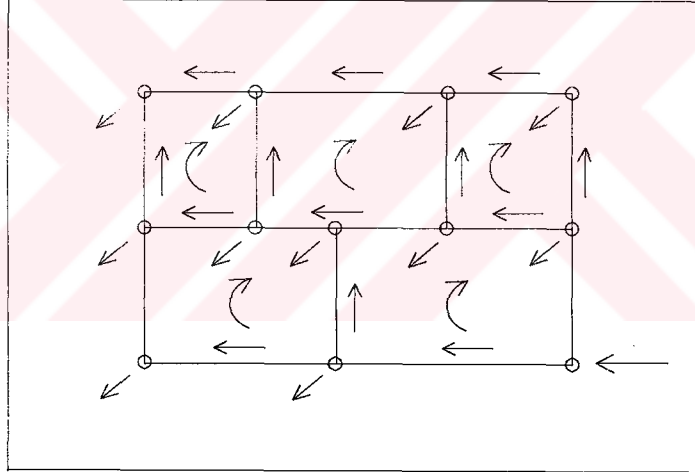
2.4.- Su Dağıtım Şebekelerinin Hidroliği-Hardy Cross Metodu

2.4.1. Giriş

İçerisindeki içme ve kullanma suyunu dışarıya verebilen ve birçok gözlerden meydana gelen boruları oluşturduğu sisteme Şebeke denir. Bu birbirine bağlanmış boruların içerisindeki akım, bir çok birçok yönden elektrik devre sistemlerindeki elektrik akımına benzerlik gösterir. Genellikle şebekeler üzerindeki problemler oldukça komplikedir. ve esas hatlardaki debinin dengelenmesi, denemeyanılma (totonman) yolu ile çözümlenebilir.

Bir şebeke sisteminde aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

- 1) Şebeke sisteminin her bir kapalı devresinde aynı yönde hesaplanan yük kayıplarının toplamı sıfır olmalıdır.
- 2) Herhangi bir düğüm noktasına giren ve çıkan debiler eşit olmalıdır.
- 3) Şebeke sisteminde Daroy-Weisbach denklemi veya üstel birsürtünme formülü her bir boru için ayrı ayrı sağlanmalıdır, yani herborudaki yük kaybı ile debi arasındaki uygun ilişki muhafaza edilmelidir.



Şekil-2.15 Şebeke

Şebeke hesaplarında kullanılan en yaygın ve en gerçekçi metod olarak Hardy-Cross metodu gösterilir.

Bu metotta , herbir hattın su ihtiyacını sürekli bir şekilde karşılayacak tahmini debilerin belirlenmesi esastır. Daha sonra tahmin edilen bu debilerin ne derece doğru olduğunun hesabı yapılır ve düzeltilmiş olan debiler tekrar hesaplanır, bu uygulamaya denge yaklaşık olarak sağlanıncaya kadar devam edilir.

Hardy-Cross metodunun uygulanması aşağıdaki maddeler halinde izah edilebilir.

- 1) Her bir duyumda $\sum Q=0$ olacak şekilde herboru için gerekli olabilecek başlangıç debisi tahmin edilir.

2) Her bir boru için $h_L = r.Q^n$ yük kaybı hesaplanır. Burada her boru için r sabit değere sahiptir. Daroy-Weisbach için $n=2$, Williams-Hazen için $n=1,85$ olmaktadır.

3) Her bir kapalı göz için, saat akrebinin dönüş yönü pozitif kabul edilerek, yük kayıplarının toplamı hesaplanır. ($\Sigma h_L = \Sigma r.Q^n$) (2.95)

Eğer $\Sigma h_L = 0$ ise seçilen debilerin doğru olduğunu gösterir.

Eğer $\Sigma h_L \neq 0$ ise seçilen debiler hatalıdır ve her bir göz, ΔQ düzeltme debisi ile yeniden düzenlenmelidir.

4) ΔQ düzeltme debisi şöyle hesaplanmalıdır ;

Q_0 = Başlangıç debisi , Q = Düzeltilmiş debi ise

$$Q = Q_0 + \Delta Q \quad (2.96a)$$

dır. O halde her bir boru için yük kaybı

$$h_L = r(Q_0 + \Delta Q)^n \quad (2.96b)$$

ve

$$h_L = r(Q_0^n + nQ_0^{n-1}\Delta Q + n(n-1)Q_0^{n-2}\Delta Q^2 + \dots) \quad (2.96c)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer ΔQ , Q_0 'e göre küçükse birden büyük üslü terimleri ihmal edilebilir. Toplam yük kaybı için aşağıdaki ifade yazılabilir ;

$$\Sigma h_L = \Sigma rQ^n = \Sigma rQ_0^n + \Delta Q \Sigma r.nQ_0^{n-1} = 0 \quad (2.97)$$

buradan ΔQ çözülürse

$$\Delta Q = \frac{-\Sigma rQ_0^n}{\Sigma r.nQ_0^{n-1}} \quad (2.98)$$

veya

$$\Delta Q = \frac{-\Sigma h_L}{n\Sigma h_L / Q_0} \quad (2.99)$$

elde edilebilir.

Bu ifade de pay işaretlere dikkat edilerek cebrik olarak payda ise aritmetik olarak toplanmalıdır.

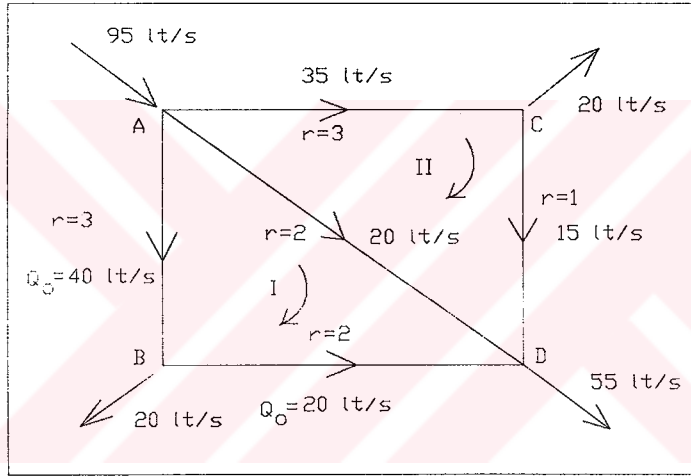
Hesaplanan ΔQ düzeltme debileri, boru içerisindeki debi saat ibresi yönünde akması halinde pozitif, şayet akış saat ibresinin zıt yönünde ise negatif alınmak suretiyle ilave edilmelidir.

Birbirine komşu gözlerde sözkonusu olan ortak borularda her iki göz için hesaplanmış olan ΔQ düzeltme debilerinin farkı dikkate alınmalıdır.

5) Hesaplamalara, ΔQ düzeltme debileri ihmal edilebilecek mertebelere düştüğünde son verilir.

2.4.2. Örnekler

2.4.2.1. Örnek



(Şekil 2.16) Şekilde verilen şebeke sistemini Hardy-Cross metoduyla çözünüz ($n = 2$).

r büyükse dağıtılan debiyi daha fazla vermek uygundur.

Başlangıç Debileri
 AB $Q_o = -40$ lt/s
 BD $Q_o = -20$ lt/s
 AD $Q_o = 20$ lt/s
 AC $Q_o = 35$ lt/s
 CD $Q_o = 15$ lt/s
 AD $Q_o = -20$ lt/s
 seçildi

1. İterasyon

I. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ |
|----------------------------|----------------------------|
| AB $-3 \cdot 40^2 = -4800$ | $2 \cdot 3 \cdot 40 = 240$ |
| BD $-2 \cdot 20^2 = -800$ | $2 \cdot 2 \cdot 20 = 80$ |
| AD $2 \cdot 20^2 = 800$ | $2 \cdot 2 \cdot 20 = 80$ |
| -4800 | 400 |

$$\Delta Q_I = \frac{-\Sigma 2Q_0^2}{\Sigma 2rQ_0} = -\frac{-4800}{400} = 12$$

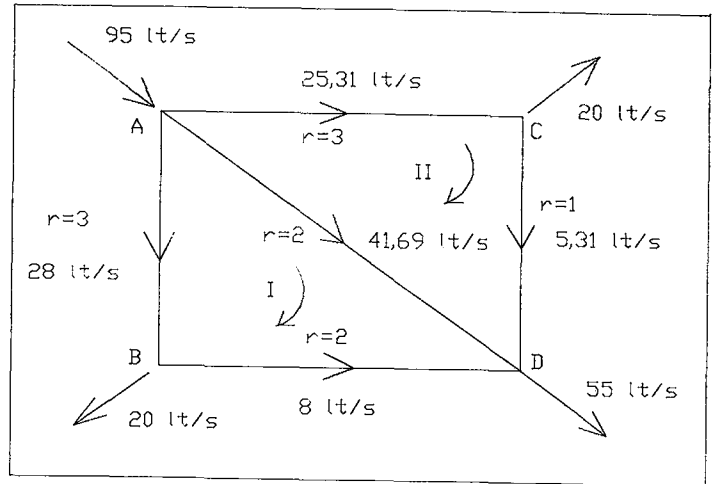
II. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ |
|---------------------------|----------------------------|
| AC $3 \cdot 35^2 = 3675$ | $2 \cdot 3 \cdot 35 = 210$ |
| CD $1 \cdot 15^2 = 225$ | $2 \cdot 1 \cdot 15 = 30$ |
| AD $-2 \cdot 20^2 = -800$ | $2 \cdot 2 \cdot 20 = 80$ |
| 3100 | 320 |

$$\Delta Q_{II} = \frac{3100}{320} = 9,69$$

Düzeltilmiş debiler

- AB $Q_1 = -40 + (12) = -28 \text{ lt/s}$
 BD $Q_1 = -20 + (12) = -8 \text{ lt/s}$
 AD $Q_1 = +20 + (12 - (-9,69)) = 41,69 \text{ lt/s}$
 AC $Q_1 = +35 + (-9,69) = 25,31 \text{ lt/s}$
 CD $Q_1 = +15 + (-9,69) = 5,31 \text{ lt/s}$
 AD $Q_1 = -20 + (-9,69 - (12)) = -41,69 \text{ lt/s}$



(Şekil 2.17)

2. İterasyon

I. Göz

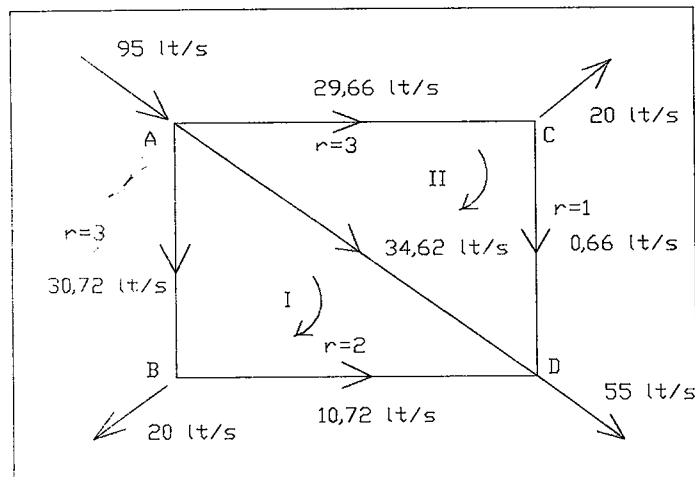
| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|--------------------------------|----------------------------------|--|
| AB $-3 \cdot 28^2 = -2352$ | $2 \cdot 3 \cdot 28 = 168$ | $\Delta Q = \frac{996,11}{366,76} = -2,72$ |
| BD $-2 \cdot 8^2 = -128$ | $2 \cdot 2 \cdot 8 = 32$ | |
| AD $2 \cdot 41,69^2 = 3476,11$ | $2 \cdot 2 \cdot 41,69 = 166,76$ | |
| 996,11 | 366,76 | |

II. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|--------------------------------|----------------------------------|---|
| AC $3 \cdot 25,31^2 = 1921,79$ | $2 \cdot 3 \cdot 25,31 = 210$ | $\Delta Q = -\frac{1526,12}{329,24} = 4,64$ |
| CD $1 \cdot 5,31^2 = 28,2$ | $2 \cdot 1 \cdot 5,31 = 10,62$ | |
| AD $-2 \cdot 41,69^2 = -34,76$ | $2 \cdot 2 \cdot 41,69 = 166,76$ | |
| -1526,12 | 329,24 | |

Düzeltilmiş debiler

- AB $Q_2 = -28 - 2,72 = -30,72 \text{ lt/s}$
 BD $Q_2 = -8 - 2,72 = -10,72 \text{ lt/s}$
 AD $Q_2 = 41,69 + (-2,72 - 4,84) = 34,33 \text{ lt/s}$
 AC $Q_2 = 25,31 + 4,35 = 29,95 \text{ lt/s}$
 CD $Q_2 = 5,31 + 4,35 = 10,62 \text{ lt/s}$
 AD $Q_2 = -41,69 + (4,64 - (2,72)) = -34,33 \text{ lt/s}$



(Şekil 2.18)

3. İterasyon

I. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|----------------------------------|----------------------------------|--|
| AB $-3 \cdot 30,72^2 = -2831,16$ | $2 \cdot 3 \cdot 30,72 = 240$ | $\Delta Q = -\frac{-703,9}{364,52} = 1,93$ |
| BD $-2 \cdot 10,72^2 = -229,84$ | $2 \cdot 2 \cdot 10,72 = 42,88$ | |
| AD $2 \cdot 34,33^2 = 2357,19$ | $2 \cdot 2 \cdot 34,33 = 137,32$ | |
| <hr/> | <hr/> | |
| -703,9 | 364,52 | |

II. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|---------------------------------|----------------------------------|---|
| AC $3 \cdot 29,95^2 = 2691,00$ | $2 \cdot 3 \cdot 29,95 = 179,70$ | $\Delta Q = -\frac{432,90}{336,92} = -1,28$ |
| CD $1 \cdot 9,88^2 = 99,00$ | $2 \cdot 1 \cdot 9,88 = 19,90$ | |
| AD $-2 \cdot 34,33^2 = -2357,1$ | $2 \cdot 2 \cdot 34,33 = 137,32$ | |
| <hr/> | <hr/> | |
| 432,90 | 336,92 | |

Düzeltilmiş debiler

$$AB \quad Q_3 = -30,72 + 1,93 = -28,79 \text{ lt/s}$$

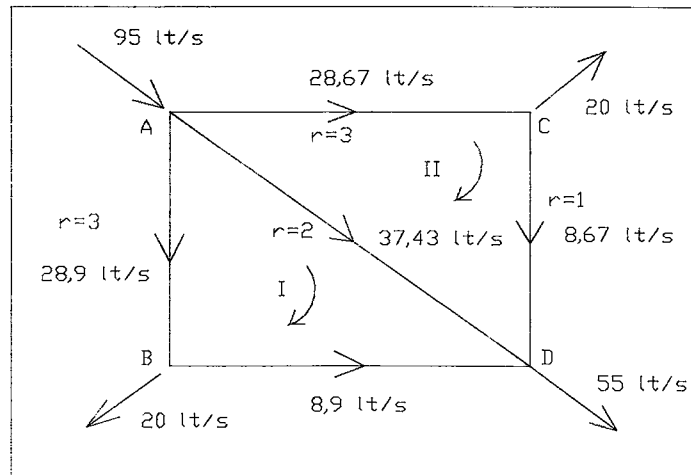
$$BD \quad Q_3 = -10,72 + 1,93 = -8,79 \text{ lt/s}$$

$$AD \quad Q_3 = 34,33 + (1,93 - (-1,28)) = 37,54 \text{ lt/s}$$

$$AC \quad Q_3 = 24,95 - 1,28 = 23,67 \text{ lt/s}$$

$$CD \quad Q_3 = 9,95 - 1,28 = 8,67 \text{ lt/s}$$

$$AD \quad Q_3 = -34,33 + (-1,28 - 1,88) = -37,54 \text{ lt/s}$$



(Şekil 2.19)

4. İterasyon

I. Göz

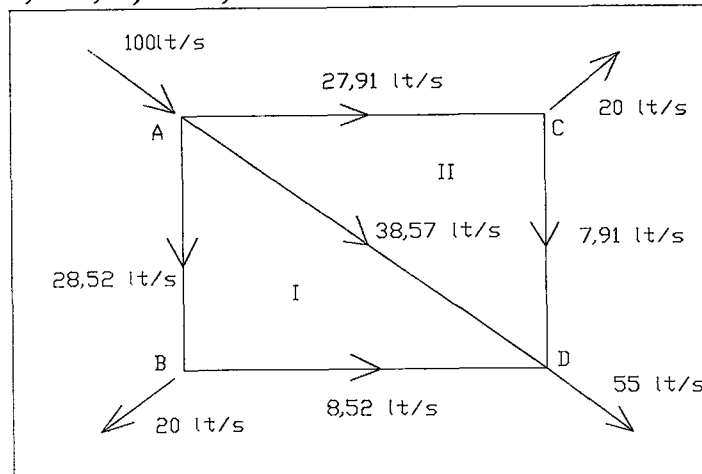
| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|----------------------------|----------------------|--|
| AB $-3*28,79^2 = -2486,59$ | $2*3*28,9 = 172,74$ | $\Delta Q = -\frac{177,82}{358,05} = 0,58$ |
| BD $-2*8,9^2 = -154,53$ | $2*2*8,9 = 35,16$ | |
| AD $2*37,43^2 = 2818,50$ | $2*2*37,43 = 150,76$ | |
| <hr/> | <hr/> | |
| 177,82 | 358,05 | |

II. Göz

| ΣrQ^2 | ΣnrQ | |
|----------------------------|----------------------|---|
| AC $3*28,67^2 = 2465,91$ | $2*3*28,68 = 172,02$ | $\Delta Q = -\frac{-277,42}{339,52} = 0,82$ |
| CD $1*8,67^2 = 75,17$ | $2*1*8,67 = 17,34$ | |
| AD $-2*37,54^2 = -2808,50$ | $2*2*37,54 = 150,16$ | |
| <hr/> | <hr/> | |
| -277,42 | 339,52 | |

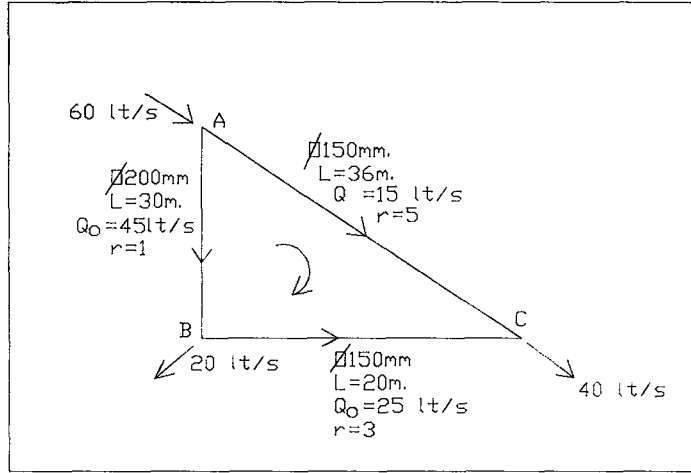
Düzeltilmiş debiler

- AB $Q_4 = -28,9 + 0,50 = 28,20 \text{ lt/s}$
 BD $Q_4 = -8,79 + 0,50 = 8,29 \text{ lt/s}$
 AD $Q_4 = 37,54 + (0,50 - (-0,82)) = 38,86 \text{ lt/s}$
 AC $Q_4 = 28,67 - 0,82 = 27,85 \text{ lt/s}$
 CD $Q_4 = 8,67 - 0,82 = 7,85 \text{ lt/s}$
 AD $Q_4 = -37,43 + (-0,82 - 0,58) = -38,86 \text{ lt/s}$



(Şekil 2.20)

2.4.2.2. Örnek



(Şekil 2.21) Şekilde verilen sistemi Hardy-Cross metoduyla çözünüz.

Çözüm

$$h_L = \lambda \frac{L U^2}{D 2g}$$

$$h_L = \lambda \frac{L \cdot 16Q^2}{D 2g\pi^2 D^4}$$

$$h_L = \frac{16}{2g\pi^2} \lambda \frac{L}{D^5} Q^2$$

$$r = \frac{16}{2g\pi^2} \lambda \frac{L}{D^5}$$

$$h_L = rQ^2$$

$$r_{AC} = 0,00165253 \frac{36}{0,15^5} = 783,42 \quad \left| \quad r_{AC} = \frac{783,42}{154,92} = 5$$

$$r_{BC} = 0,00165253 \frac{20}{0,15^5} = 435,23 \quad \left| \quad r_{BC} = \frac{435,23}{154,92} = 3$$

$$r_{AB} = 0,00165253 \frac{30}{0,2^5} = 154,92 \quad \left| \quad r_{AB} = \frac{154,92}{154,92} = 1$$

| ΣrQ^n | ΣnrQ | |
|----------------------------|----------------------------|--|
| AC $5 \cdot 15^2 = 1125$ | $2 \cdot 5 \cdot 15 = 150$ | $\Delta Q = -(-2775/390)$ $\Delta Q = 7,12$ |
| AB $-1 \cdot 45^2 = -2025$ | $2 \cdot 1 \cdot 45 = 90$ | |
| BC $-3 \cdot 25^2 = -1875$ | $2 \cdot 3 \cdot 25 = 150$ | |
| ----- -2775 | ----- 390 | |

Düzeltilmiş debiler

$$AC \quad Q_1 = 15 + 7,12 = 22,12 \text{ lt/s}$$

$$AB \quad Q_1 = -45 + 7,12 = -37,88 \text{ lt/s}$$

$$BC \quad Q_1 = -25 + 7,12 = -17,88 \text{ lt/s}$$

| ΣrQ^n | ΣnrQ |
|----------------------------------|--|
| AC $5 \cdot 22,12^2 = 2446,47$ | $2 \cdot 5 \cdot 22,12 = 221,2$ $\Delta Q = (52,5/404,24)$ |
| AB $-1 \cdot 37,88^2 = -1434,89$ | $2 \cdot 1 \cdot 37,88 = 75,76$ $\Delta Q = -0,13$ |
| BC $-3 \cdot 17,88^2 = -959,08$ | $2 \cdot 3 \cdot 25 = 107,28$ |
| 52,5 | 404,24 |

Düzeltilmiş debiler

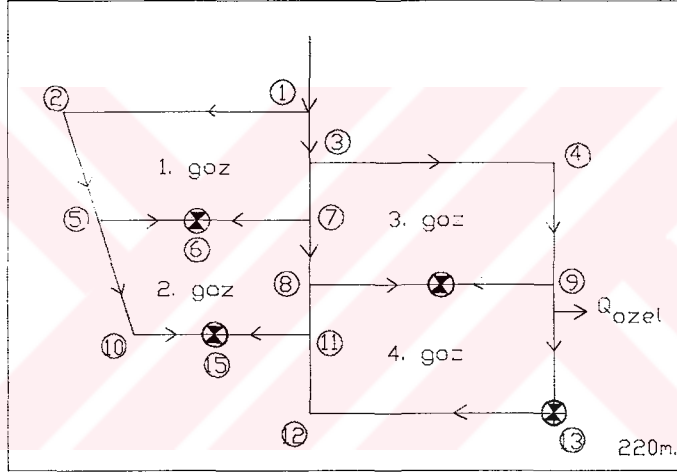
AC $Q_2 = 22,12 - 0,13 = 21,99 \text{ lt/s}$
 AB $Q_2 = -37,88 - 0,13 = -38,01 \text{ lt/s}$
 BC $Q_2 = -17,88 - 0,13 = -18,01 \text{ lt/s}$



2.5. Su Dağıtım Şebekelerinin Ölü Noktalar Metodu

2.5.1. Giriş

Ölü noktalar metodunda, Şebeke çeşitli noktalardan kesilerek dal sistemi haline getirilir. Kesilmiş kabul edilen bu noktalarda su akımı yoktur. Bu sebeple bu noktalara "ölü noktalar" denir. Bu şekilde dal sistemi haline getirilen şebeke aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır. Şebekedeki ölü nokta sayısı göz sayısına eşittir. Boru çaplarının ve ölü noktaların uygun seçilip seçilmediği kapalı çerçeveler boyunca yük kayıpları toplamının yaklaşık olarak birbirine eşit olup olmadığı tahkik edilerek anlaşılır. İller Bankası Yönetmeliğine göre ölü noktaya farklı yönlerden gelinmesi halinde yük kayıpları arasındaki fark 1 m. 'den az olmalıdır. Eğer ölü noktalarda basınç farkı büyük olursa, bu noktaların yerleri veya boru çapları değiştirilir. ve hesap tekrarlanır.



(Şekil 2.17) Örnek tasarım

1) Ölü nokta seçiminde

- gözlerdeki izafi boylar ($k.L$) yaklaşık eşit olmalıdır.
- Beslediği hatlarda suyu kesmemelidir.
- Bir tanesi sistemin köşe noktasında olmalıdır.

2) k katsayısının hesabı

Sistemdeki her göz bilinen basit geometrik şekillere benzetilerek alanları hesaplanır. Hesaplanan en küçük alan (A_{min}) değeri esas alınarak sistemdeki tüm alan değerlerinin bu değere bölünmesiyle, k katsayıları bulunur. ($k = A / A_{min}$)

$$q_{\max} = 1,5 \cdot q_{\text{ort}} \quad (2.100)$$

dır.

$q = 400 \text{ lt} / \text{N.gün}$ alınabilir.

$$Q = \frac{1,5q_{\text{ort}}N}{86400} \quad (2.101)$$

Burada ; $Q_{\text{ihtiyaç}}$ bölgeye gerekli olan suyun debisi, N gelecekteki nüfustur.
 $q_{\max} = \text{kişi başına maximum günlük su sarfıyatı (lt / N.G)}$

$$Q_{\text{dağ}} = \frac{1,5Q_{\text{iht}}}{\sum L_i k_i} = q \text{ lt / sn.m.} \quad (2.102)$$

Burada, $Q_{\text{dağıtım}}$ dağıtılacak suyun debisi, $L_i = i$ borusunun boyu, k_i borusuna ait katsayı

$$Q_{\text{hesap}} = Q_{\text{kendi}} + Q_{\text{uc}} + Q_{\text{özel}} + Q_{\text{yangın}} \quad (2.103)$$

Eğer boru ölü nokta ile temasta ise

$$Q_h = 0,577qLk + q(\sum L_{i-n} k_{i-n}) + Q_{\text{özel}} + Q_{\text{yangın}} \quad (2.104)$$

boru ölü nokta ile temasta değilse

$$Q_h = 0,55qL_i k_i + q(\sum L_{i-n} k_{i-n}) + Q_{\text{özel}} + Q_{\text{yangın}}$$

9-13

$$Q_h = 0,577q(Lk)_{9-13} + O + Q_{\text{öz}} + Q_y$$

4-9

$$Q_h = 0,559(Lk)_{4-9} + q[(Lk)_{9-14} + (Lk)_{9-13}] + Q_{\text{öz}} + Q_y$$

3-4

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{3-4} + q[(Lk)_{4-9} + (Lk)_{9-13} + (Lk)_{9-14}] + Q_{\text{öz}} + Q_y$$

12-13

$$Q_h = 0,557(Lk)_{12-13} + O + O + Q_{\text{yangın}}$$

11-12

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{11-12} + q[(Lk)_{12-13} + O + Q_y]$$

11-15

$$Q_h = 0,557(Lk)_{15-11} + q[(Lk)_{11-12} + (Lk)_{12-13}] + O + Q_y$$

8-11

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{8-11} + q[(Lk)_{15-11} + (Lk)_{11-12} + (Lk)_{12-13}] + O + Q_y$$

8-14

$$Q_h = 0,557q(Lk)_{8-14} + O + O + Q_y$$

7-8

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{7-8} + q[(Lk)_{8-14} + (Lk)_{8-11} + (Lk)_{15-11} + (Lk)_{11-12} + (Lk)_{12-13}] + O + Q_y$$

3-7

$$Q_h = 0,55q(Lk) + q[(Lk)_{6-7} + (Lk)_{7-8} + (Lk)_{8-14} + (Lk)_{8-11} + (Lk)_{15-11} + (Lk)_{11-12} + (Lk)_{12-13}] + O + Q_y$$

6-7

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{6-7} + q[(Lk)_{7-8} + (Lk)_{8-14} + (Lk)_{8-11} + (Lk)_{15-11} + (Lk)_{11-12} + (Lk)_{12-13}] + O + Q_y$$

1-3

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{1-3} + q[(Lk)_{3-7} + (Lk)_{6-7} + (Lk)_{7-8} + (Lk)_{8-14} + (Lk)_{8-11} + (Lk)_{15-11} + (Lk)_{11-12} + (Lk)_{3-4} + (Lk)_{4-9} + (Lk)_{9-14} + (Lk)_{9-13} + (Lk)_{9-13}] + O_{\delta z} + Q_y$$

10-15

$$Q_h = 0,557q(Lk)_{10-15} + O + O + Q_y$$

5-10

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{5-10} + q(Lk)_{10-15} + O + Q_y$$

5-6

$$Q_h = 0,577q(Lk)_{5-6} + q[(Lk)_{10-15} + (Lk)_{5-10}] + O + Q_y$$

$$\Delta h_{5-6}$$

2-5

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{2-5} + q[(Lk)_{5-6} + (Lk)_{5-10} + (Lk)_{10-15}] + O + Q_y$$

$$\Delta h_{2-5}$$

1-2

$$Q_h = 0,55q(Lk)_{1-2} + q[(Lk)_{2-5} + (Lk)_{5-6} + (Lk)_{5-10} + (Lk)_{10-15}] + O + Q_y$$

$$\Delta h_{1-2}$$

Yük kayıpları arasındaki farkın kontrolü

1. göz için

$$\Delta h(h_{1,2} + h_{2,5} + h_{5,6}) - \Delta h(h_{1,3} + h_{3,7} + h_{7,6}) \leq |l| \quad (2.105)$$

olmalıdır.

Her boru için yük kaybı hesabı

$$Q = A \cdot V$$

$$V = Q/A \quad (2.106)$$

bağntısında kriterler içindeki çap seçilir V bulunur.

$$J = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{H_i - H_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \quad (2.107)$$

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.108)$$

$$\Delta h = JL \quad (2.109)$$

veya

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{p} \frac{V^2}{2g} \quad (2.110)$$

bulunur.

Veya bu değerler tablodan seçilen çapa göre bulunabilir. Δh farkları $\leq |1|$ olmadığı zaman dengelemeyi sağlamak için aşağıdaki yol izlenir.

Yük kaybının büyük olduğu yerde hız büyük olur dolayısıyla çap küçük demektir. Yük kaybını azaltmak için çapı artırıp hızı düşürmek gerekir.

2. göz

$$\Delta h[1 - 2 + 2 - 5 + 5 - 10 + 10 - 15] - \Delta h[1 - 3 + 3 - 7 + 7 - 8 + 8 - 11 + 11 - 15] \leq 1$$

3. göz

$$\Delta h[3 - 7 + 7 - 8 + 8 - 14] - \Delta h[3 - 4 + 4 - 9 + 9 - 14] \leq 1$$

4. göz

$$\Delta h[3 - 7 + 7 - 8 + 8 - 11 + 11 - 12 + 12 - 13] - \Delta h[3 - 4 + 4 - 9 + 9 - 13] \leq 1$$

$$Q_{\text{Şebeke ana borusu}} = Q_{\text{doç}} + Q_{\text{öz}} + Q_{\text{yan}} \quad (2.111)$$

Haznenin kotu = En yüksek nokta kotu + Nüfusa göre en az işletme basıncı (ortalama 30 mss) + Δh Şebeke anaborusu

2.6. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Don J. Wood ve Carl O.A. Charles, 1972 yılında yapmış oldukları araştırmada hidrolik şebeke analizinin lineer teori ile yapılması konusunu incelemişlerdir. Bu araştırmacılara göre;

Kapalı şebekede akım dağılımının analizine son zamanlarda büyük önem verilmektedir. Bu da, çok vakit alan, ardışık işlemler gerektiren, karmaşık hesaplamaların dijital bilgisayarlarla çok daha kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu problemlere çözüm bulmanın ekonomi ve dizayn için önemi vardır.

Problem, her birleşimde sürekliliği (örneğin giren akım = çıkan akım + debi (veya depolama)) ve her kapalı göz çevresinde enerjinin korunumunu sağlayan bir akım dağılımını elde ederek çözülmüştür. Süreklilik bağıntıları, lineer cebirsel denklemlerdir, kapalı bir göz etrafında enerjinin korunumunu tanımlayan bağıntılar ise, genellikle nonlineer cebirsel denklemlerdir ve bu denklemlerin direkt eşzamanlı çözümü için bir metot bilinmemektedir. Çoğu çözümler, süreklilik şartlarını temin eden akım miktarlarını tahmin ederek başlarlar. Debiler, belirli bir toleransta ve süreklilik ve enerji korunumunun sağlandığı şartlarda elde edilinceye kadar, önceden belirlenmiş bir metoda uygun olarak kullanılan enerji denklemi değiştirecek şekilde, bu tahminlerde çeşitli düzeltmeler yapılır.

En önde gelen ve muhtemelen en yaygın şekilde kullanılan analiz metodlarından biri, Hardy Cross tekniğidir. Bu metot, enerji denklemini, her bir gözdeki akım oranı için, düzeltme faktörü cinsinden, birinci dereceden bir denklem şeklinde açarak ilk tahmini değerlerde çeşitli düzeltmeler yapmaktadır. Sürekli tekrarlanan bu işlemde, hızlı bir çözüm elde etmek başlangıç tahminin doğruluğuna bağlıdır. Bununla beraber, metot elle yapılan hesaplara uygundur ve şebeke akım analizi için çok sayıda dijital program bu işlem kullanarak hazırlanmıştır. Belirli durumlarda Hardy Cross metodunun çok yavaş yakınsadığı veya hiç yakınsamadığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda yakınsamayı geliştirmek için özel önlemler önerilmiştir.

Şebeke Analizi

n boru, j birleşim ve l gözü bulunan bir şebekede aşağıdaki tanımın olduğu gösterilmiştir :

$$n = j + 1 - 1 \quad (2.113)$$

Bu tüm kapalı gözlerin bulunduğu şebekeler, açık dal tipte şebekeler veya iki tipin kombinasyonları için doğrudur. Şebekedeki birleşimler için $j-1$ lineer süreklilik denklemlerini (ilave denklem gereksizdir) yazmak mümkündür. Burada düğüme giren debi, çıkan debiye eşittir :

$$Q_{giren} = Q_{çıkan} \quad (2.114)$$

Q = hacimsel debidir. İlaveten, nonlinear enerji denklemleri (her göz için bir adet) vardır

$$S hL = 0 \quad (2.115)$$

hL , o gözdeki boruda mevcut yük kaybıdır ve debinin, Q , bir fonksiyonudur. (2.114) ve (2.115) denklemlerinden her borudaki debi için n sayıda eşzamanlı denklemler elde edilir. Teorik olarak, bu denklemler debiler için çözülebilir. Ancak, boru i 'deki yük kaybı en iyi

$$hL_i = K_i Q_i^a \quad (2.116)$$

bağıntısı ile gösterilmiştir. K_i , boru uzunluğu, çap ve boru malzemesi tipinin bir fonksiyonu olan boru hattı sabitidir, ve a , türbülanslı akış için 1.8 ve 2.0 arasında olan ampirik yük kaybı üstel değeridir. Bu ilişki, her göz denklemini nonlinear hale getirir ve bu eşzamanlı denklemlerin direkt çözümü için belirlenen bir metot yoktur.

Yük kaybını aşağıdaki şekilde yakınlştırarak göz denklemlerini lineer denklemlere dönüştürmek önerilmiştir :

$$h_i L = K_i Q_i^a = K_i Q_{i0}^{a-1} Q_i = K_i' Q_i \quad (2.117)$$

Q_{i0} , i hattındaki yaklaşık debidir. Tabii, Q_{i0} gerçek debi olan Q_i 'ye yaklaşıncaya, (2.117) denklemi, yük kaybının kesin bir ifadesi haline gelir. Modifiye boru hattı sabiti, K_i' , hesaplamak için yaklaşık debi değerlerini kullanılarak, göz denklemleri lineer denklemler olarak ifade edilebilir, ve süreklilik denklemleri ile birleştirildiğinde n adet lineer şebeke oluşur ki bunların çözülmesi ile her kattaki debinin hesaplanması mümkün olur. Ancak, yük kaybına ilişkin terimleri lineer hale getirmek için yaklaşık değerler kullanıldığından, bu yaklaşık bir çözümdür. Debiler için elde edilen değerler, modifiye boru hattı sabitleri,

K'i 'lerin yeni değerlerinin hesaplanmasında kullanılabilir, bunlar da hat debileri için daha hassas sonuçlara ulaşmak için kullanılacak yeni bir n-denklemler sistemi elde edilmesini sağlarlar. Bu işleme, ardışık iki hesaplama setinden elde edilen debilerin değerleri arasındaki fark belli bir değerden küçük olana kadar devam edilebilir.

Önerilen Metodun Özellikleri

Yukarıda tanımlanan nonlinear eşzamanlı hidrolik şebeke denklemlerini çözme tekniği, çok basit görünse de, bu metodu hidrolik şebeke hesaplamaları için cazip hale getiren birçok özellik vardır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

Başlangıç Akım Oranlarının Hesaplanması -- Hidrolik şebeke analizi için halen kullanılan metotlar, her hattaki debinin tahminini gerektirir. Çözümün yakınsaması başlangıç tahminlerinin doğruluğundan ileri derecede etkilenir ve kötü tahminler çözümün yakınsamadığı durumlara yol açabilir. Burada önerilen teknik için akım oranlarının tahmini gerekmez. Bunun yerine, mantıklı ölçüde doğru başlangıç akım oranları kolayca hesaplanabilir. Bu, modifiye boru hattı sabitinin akım oranından bağımsız olduğu varsayılarak yapılabilir, ve ilk tahmin olarak

$$K_i = K_i \quad (2.118)$$

yazılabilir.

(2.118) Denklemini kullanarak bir lineer denklemler seti, elde edilebilir ve debiler için eşzamanlı olarak çözülebilir. Bu şekilde elde edilen çözüm, şebekedeki laminer akım dağılımının tahmini ile elde edilene çok benzemektedir, çünkü yük kaybı, akım oranı ile lineer bir şekilde değişmektedir ve uzunluk ile çapa bağlıdır. Laminer akım için hat akım ilişkisinin kesin şekli ve yukarıda önerilen şekil, biraz farklıdır ve başlangıç akım dağılımı, laminer akım tahmin edilerek hesaplanabilir. Ancak sonuçlar çok farklı olmayacaktır. Hidrolik şebekelerde başlangıç akım dağılımını hesaplamak için kullanılan bu teknik, laminer akım dağılımını yaklaşık olarak hesapladığından çok yerinde değerler verir. Bunun sonucunda türbülanslı akım dağılımı için uygun tahminler elde edilir.

Çözümün Yakınsaması -- Bu yöntem hidrolik şebeke problemi için ilk uygulandığında, ardışık deneylerin doğru çözüme yaklaşan sonuçlar verdikleri görülmüştür. Ayrıca, ardışık iki deneyin sonuçlarının ortalamasının, sonuç debi değerine çok yakın bir sonuç verdiği de gözlenmiştir. Bu nedenle, iki akım oranı hesaplamasının

ortalama değerleri, o deneydeki debi için en iyi değeri ve bir sonraki deneyde kullanılan modifiye boru hattı sabitini , K'i , hesaplamakta kullanılmıştır.

$$Q_{i0} = \frac{Q_{i-1} + Q_{i-2}}{2} \quad (2.119)$$

Q_{i-1} , i hattındaki önceki deneylerden elde edilen debi ve Q_{i-2} ondan önceki deneyden elde edilen adebidir. Bu ortalama işlemin çözüme hızlı bir yakınsama sağladığı ve bir problem için iki ile dört deneyden fazla deneyin gerekli olmadığı görülmüştür. Sadece yakınsama hızlı olmakla kalmamış, debiler için başlangıç değerlerinin hesaplanmasında kullanılan teknik, çözümlün her zaman yakınsamasını sağlamıştır. Ancak, yazarlar bunun için genel bir ispat oluşturamamıştır.

Programlamanın Kolaylığı -- en yoğun hidrolik şebeke analizleri bilgisayarla yapıldığından, dijital bilgisayar programlanmasında metodun uygunluğu önemli bir faktördür.

Hidrolik şebeke analizi için mevcut metotlar, iki göz için ortak boruların tanımlanmasını gerektirir. Bu, programlamayı veya açık ve kapalı gözlü şebekeleri tanımlamak için gerekli veriyi güçleştiren programlama problemlerine yol açar. Ancak, burada anılan teknik için bu programlama problemleri mevcut değildir. Ortak borular, birleşim ve göz denklemlerinin formülasyonu için özel bir önem taşımazlar.

Açık-kapalı göz sistemleri, j-1 birleşim denklemlerinde ve l göz denklemlerinde her zaman belirlenmiştir ve kapalı göz sistemlerinden bir ayırım gerektirmezler. Eşzamanlı lineer denklemlerin çözümlü için mevcut usulleri kullanarak, her tipte hidrolik şebekeyi az miktarda girdi verisi ile inceleyebilen çok kısa dijital bilgisayar programı (FORTRAN veya benzer bir dille) yazmak mümkündür.

Optimizasyon Analizinin Kullanılması -- n sayıda borudan oluşan akım dağılımı şebekesi hidroliğini nxn matris ile tanımlamak, hidrolik şebekelerde maliyet optimizasyonu için uygun bir yol olabilir. Bu kavram heniz geliştirilmemiş olmasına karşın, bu analiz metodunun mevcut lineer programlama tekniklerine daha uygun şekilde entegre edilebildiği görülmektedir.

Elle Hesaplama Uygunluk -- Lineer Şebeke analizinin n sayıda borudan oluşan bir hidrolik Şebekeye uygulanması, n sayıda lineer denklemlerin eşzamanlı olarak birÇok kez cözümünü gerektirdiğinden bu metot, elle yapılan hesaplamalara uygun değildir. Bu metot için cözölmesi gereken lineer denklem sayısı, Şebekedeki kapalı gözler sayısı ile sınırlıdır. Hardy Cross tekniği, eller yapılacak hesaplamalar için en uygun teknik olarak görünmektedir.

Bu Çalışmada Elde Edilen SonuÇlar

Nonlinear yük kaybı için modifiye edilmiş lineer Şebeke teorisinin kullanılması, hidrolik Őebelerde akım dağılımını cözme için uygulanabilir. Bu yaklaşımın cök sayıda avantajı vardır. Bunların en önemlisi, sonuca yakınsamanın cök hızlı olması ve tüm durumlarda garantili görünmesidir. Metot akım oranları için baŐlangıŐ tahmini gerektirmez ve hem kapalı hem aÇık-kapalı Şebeke tiplerinde direkt olarak uygulanabilmektedir.

H.S. Rao ile Don W. Bree 1977 yılında yapmış oldukları çalışmada su dağıtım sistemlerinin uzatılmış süreli simülasyonu üzerinde durmuşlardır. Bu araştırmacılara göre; Su dağıtım sistemlerinin işlemesi ve planlamasında en önemli husus, çeşitli yükleme şartlarında sistemin tüm noktalarında yeterli hizmet seviyesinin temin edilmesidir. Hizmet seviyesini belirleme kriterleri şunları içerir: a)Zamanla değişebilen belirli sınırlar içindeki sistemin çeşitli noktalarında akış oranları ve basınçların korunması, b)Deponun arz ile dağılımı dengeleyebilecek şekilde idaresi. İşlevler açısından, talepteki değişmelerin hizmet seviyesi üstündeki etkisini bilmek gerekmektedir. Bu bilgi, hizmet seviyesini korumak için kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde yardımcı olacaktır. Planlama açısından, toplam talep gözönüne alarak deponun veya önerilen şebeke ilavelerinin yeterliliğini değerlendirmeye ihtiyaç vardır. Bu iki ihtiyaç, değişen talep modellerine göre 24-48 saatlik bir süre ile sistemin davranışlarının modelini yaparak karşılanabilir.

Uzatılmış sürede sistem dinamiklerinin simülasyonunun yapılmasının faydaları bilinmektedir. Ancak, bu simülasyonu yapmak için hazırda mevcut metotlar eksikti. Bu çalışmanın amacı, 1500 düğümü olan bir su dağıtım şebekesinin uzatılmış sürede simülasyonunu yapmak için etkili bir işlem sunmaktır

Çalışmanın önemli yönleri şunlardır: Her biri bir zaman aralığını temsil eden çeşitli statik çözümleri rezervuar, pompalama programları ve talep modellerindeki su seviyelerinde meydana gelen değişikliklere bağlamak için bir entegrasyon programının oluşturulması.

Koşullar

Uzatılmış süreli simülasyonu, rezervuar dinamiklerini tanımlayan fark denklemleri için bir entegrasyon programı ile bağlanmış bir dizi statik çözümler içerir. Statik çözümler, dağıtım şebekesinin aşağıdaki fizik kanunlarını yerine getirmesini şart koşar:

a)Bir düğümdeki tüm akışların cebirsel toplamı sıfırdır. Bu da, kütlenin korunumunun her düğümde gerçekleştiğini gösterir. Q_{kj} düğüm k'den j'ye olan akış ise C_k düğüm k'deki giriş veya tüketim ise, aşağıdaki bağıntı vardır:

$$-\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^N Q_{kj} + C_k = 0 \quad (2.120)$$

b)Şebekedeki her kapalı göz etrafındaki tüm basınç düşüşlerinin cebirsel toplamı sıfır olmalıdır.

$$\Sigma H_{kj} = 0 \quad (2.121)$$

Bir şebeke için göz veya düğüm eşitliklerinden hangisi kullanılırsa kullanılsın aynı anda oluşan nonlinear eşitliklerin çözülmesi problemi devam eder. Bunları aşağıdaki gibi gösterirsek :

$$g_k(X_1, X_2, \dots, X_L) = 0 \quad (k=1, \dots, L) \quad (2.122)$$

Düğüm eşitliklerindeki X_k bilinmeyen yükleri gösterirken göz eşitliklerinde bilinmeyen tekrar eden göz akışlarını gösterir.

Denklem (2.122)'ü çözmek için en basit metot, Hardy Cross metodu olduğu gibi, bir seferde bir eşitliği ele almaktır. Hardy Cross metodu elle yapılan hesaplar için çok uygundur. Bu metodu kullanarak statik şebeke çözümleri için çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiştir.

Sonuçlar

Çalışmadan şu sonuçlar çıkarılabilir:

a)Su dağıtım şebekelerinin sabit süreli ve uzatmalı simülasyonu için etkili bir simülasyon prosedürü geliştirilmiştir. Statik çözüm için metot, şebeke düğüm eşitliklerinin seyrek matrisli Newton-Raphson çözüm prosedürüne dayanmaktadır. Simülasyon prosedüründe çeşitli şebeke elemanlarının modeli yapılabilir. Uzatmalı simülasyon metodu, her evrede bir olmak üzere, statik çözümler sırası ile bağlanmış olan rezervuar seviyeleri için bir deneme-yanılma esasına dayanmaktadır.

b)Metod, şebeke için planlama kararları ve heuristic kontrol düzeninin değerlendirilmesi için kullanılabilir.

c)Prosedür çoğu su dağıtım sistemlerine uygulanabilecek seviyede geneldir.

d)Uzatmalı simülasyon yeteneği, su şebekelerinde bilgisayar destekli operasyon ve planlamada yapılacak gelişmeler için merkezdir. Operasyonda, simülasyon sonuçları, pompalama enerjisi şartlarına tabi depo yönetim politikalarını değerlendirirken planlamada alternatif şebeke takviyesi politikalarını değerlendirebilir.

Raporda su dağıtım sistemlerinin uzatmalı simülasyonunun ifasındaki analitik düşünceler ele alınmıştır.

Don J. Wood ile A.G. Rayes 1981 yılında yapmış oldukları araştırmada boru şebeke analizlerinde denklemlerin çözümünde kullanılan algoritmaların güvenilirliği üzerinde durmuşlardır. Bu araştırmada bilinen esas algoritmaların genel konfigürasyonlarında ki boru sistemleri ve pompa, diğer bilinmeyen hidrolik eleman sistemleri uygulaması üzerinde durulmuştur. Bu algoritmaların güvenilirliği, herbir algoritma ile birçok gerçek boru şebeke problemlerinin çözülmesi ve sonuçlarının karşılaştırılması yolu ile test edilmiştir.

William F. Rowell ile J. Wesley Barnes 1982 yılında yapmış oldukları su dağıtım sistemlerinin optimum planlanması üzerinde durmuşlardır. Bir yerleşimin su dağıtım sistemi dizaynında zorunlu olan ilk adım, sistemi oluşturan boru bağlantılarının yerel yerleşimi veya düzeninin tespitidir. Hem tek ve çift kaynaklı su dağıtım sistemlerinin düzeni için iki seviyeli aşamalı entegre bir modeller sistemi geliştirilmiştir. İlk seviye olan nonlineer programlama modeli ana boru bağlantıları için ekonomik bir dal düzeni seçer. İkinci seviye, entegre bir programlama modeli ise daha geniş olan birinci seviye bağlantılarında hata olması halinde belirli bir emniyet seviyesi sağlama maliyetini asgariye indirmek üzere birinci seviye dal düzenine eklenecek gözü oluşturan bağlantıları seçer. Modeller sistemi örnek bir iki kaynaklı su dağıtım sistemi düzeni problemine uygulanmıştır.

Kamunun yol haklarının kullanılması ve özel irtifak hakları elde etme zorunluluğu ile bir ölçüde sınırlandırılmasına karşın, su rezervleri kaynaklarını ana su talebi konsantrasyon düşümlerine bağlayacak hatların seçiminde oldukça esneklik mevcuttur. Yeni kanalizasyon sistemi dizaynı ve düzeninden farklı olarak, mevcut su dağıtım sistemi şebeke düzeni seçme metotları alternatif şebeke düzenlerini toplam sistem maliyeti üstündeki nihai etkisi ve su hizmetinin güvenilirliği açısından değerlendirmek ve bunları üretmek için çaba sarfetmemektedir. Literatürde mevcut çözüm metotları tasarım mühendisine çok az ölçüde yardımcı olur.

Detaylı tasarım çalışması, boruların son ebatlaması, pompa ebadı ve sayısı ile yükseltilmiş depo rezervuarlarının sayısı, ebadı ve yüksekliği gibi hayati kararların alındığı bir safha olduğundan, ilk düzenin akıllıca seçilmesi son derece önemlidir. Tasarım mühendisine daha fazla yol gösterebilmek için aşağıdaki şekilde analiz edilebilir:

a) Normal talep şartlarında ekonomik su dağılımı temin etmek için daha geniş çaplı ana bağlantılar için yayılan dalın veya merkez dalın seçimi.

b) Merkez daldaki daha geniş çaplı ana bağlantıların arızalanması durumunda yeterli akış kapasitesi temin etmek için gözü oluşturan fazla bağlantıların ve bunlara denk gelen bağlantı çaplarının seçimi.

Bu Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışma, bir şebeke düzeni seçiminde su dağılım sistemi mühendisine yardımcı olmak üzere iki adımlı bir prosedür geliştirmektedir. Birinci olarak, ekonomik bir dağılan dal bağlantıları seti (ana dal) ayrılabilir bir programla seçilmiştir. Sonra, daha büyük çaplı temel dal bağlantılarının arızası durumunda maliyet ve performanslarına göre temel dala döngü oluşturan fazla bağlantılar ve minimum bağlantı çapları eklenmiştir. Belki de en önemlisi, beklenen acil şartlarda sistem performansı olarak tanımlanan, su dağıtım sistemi güvenilirliğinin açık işlenmesidir. Beklenen acil talep şartlarında (yangın talebi, pompa ve kaynakların eskimesi) sistem performansının uygun önlemleri geliştirilmiş ve nonlineer optimizasyon modeli ile sarıh bir şekilde birleştirilmiştir.

Ronald E. Featherstone ve Karım K. El-Jumaily, 1983 yılında boru şebekeleri için optimal çap seçimi üzerinde çalışmışlardır. Su dağıtım şebekelerinin düşük maliyetli dizaynına yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu metod bilgisayarla yapılan boru hattı analizlerinin geleneksel tekniklerine dayanır. Başlangıçta tahmin edilen boru çapları değişik yatırım ve işletme maliyetleri kullanılarak bulunan bir maliyet fonksiyonuna dayanan ve en iyiyi sunan bir teknik kullanılarak ayarlanır. Verilen bir şebekenin en son dizayn maliyetleri başlangıçta kabul edilen değerler ne olursa olsun aşağı yukarı aynı bulunur. Bununla beraber boru çapındaki en son düzenlemeler farklıdır.

Bu metod basınç dağılımı, maliyet ve akış yönünden bakıldığında bir şebekenin bütün fiziksel elemanlarını göz önünde bulundurur. Metod, farz edilen sabit basınç yükleri veya boru akımı gibi hiçbir sınırlamayı kapsamaz ve her büyüklükteki açık yada kapalı gözlü şebekelere tatbik edilebilir. Bu geliştirilen optimizasyon tekniği boru hatlarının analizi için kullanılan temel bir bilgisayar programına kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Lindell E. Ormsbee A. ve Don J. Wood , 1986 yılında açık boru şebekesi kalibrasyonu üzerine yaptıkları çalışmada hidrolik şebeke modellerinin güvenilirliğini arttırmak olduğu kadar kalibrasyon metodlarında deneme ve yanılma metoduna olan ihtiyacı ortadan kaldırmak için kesin bir kalibrasyon algoritması önerilmektedir. Kalibrasyon algoritması yük kaybı katsayısı cinsinden formüle edilmiştir ve temel şebeke denklemlerinin yeniden formüle edilmesi ile geliştirilmiştir. Bu temel şebeke denklemleri şebeke yüklemesi ve çalışma şartları için verilen bir veya birden fazla ölçme durumlarındaki basınç veya akış şartları için yük kaybı dengelemesi amacı ile çözülmektedir. Burada belirlenen dengeleme boru pürüzlülüğü veya yük kayıplarının ölçülen şartlarındaki kayıpları karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Bu yaklaşımın fizibilitesini göstermek için geliştirilen algoritma bir şebeke için uygulanmıştır. Yük kaybı kalibrasyon katsayıları ve yük kaybı dengeleme faktörlerinin belirlenmesi için geliştirilen bu metod, boru şebekelerinin sağlıklı ve doğrudan kalibrasyonu için kullanılan bir yöntemdir.

Kotaro Onizuka, 1986 'da boru şebekesi analizine sistem dinamikleri yaklaşımı üzerine yaptığı çalışmada şebeke analizlerinde kararlı akım durumu için rijit su kolonu teorisine dayalı bir metod geliştirmiştir. Nazari grafik formülasyonu birinci düzenlemede sıradan bir differansiyel eşitlik verir. Bu formülasyon, şebekenin dinamik tavrılarını tanımlar. Kararlı akım halinde şebekenin asimtotik dengesini ispat eden formül ile belirlenmiş bir Liapunov fonksiyonu, Tellegen'in teoreminden elektriksel devre teorisi içinden çıkarılır. Bu fonksiyon, sistemin kararlı hale ulaşması için tek ve kesin kriterdir. Doğrudan bir zaman integrasyonu yapılabilir. Örneğin Runge-Kutta metodu kullanılarak yapılabilir.

Lindell E. Ormsbee ile Don J. Wood, 1986 yılında yapmış oldukları çalışmada su dağıtım şebekelerinin dizaynında kullanılan genel bir metod vermişlerdir. Önerilen yaklaşım bazı uygulamalar için çok kullanılmıştır. Bu yaklaşım, şebeke için geçerli olan temel hidrolik bağıntıların, Belirlenen özel çalışma şartları için seçilen dizayn parametrelerini uygulanması esasına dayanmaktadır. Elde edilen yeni denklemler modifiye edilmiştir. Lineer metod yardımı ile çözülmüştür. Bu yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için iki değişik algoritma geliştirilmiştir ve örnek şebeke üzerinde uygulaması yapılmıştır.

Yu-Chun Su, Larry W. Ning Duan ile Kevin Lansey, 1987 yılında su dağıtım şebekelerinde güvenilirliğe dayanan optimizasyon modelini geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, süreklilik enerji tasarrufu birleşme noktalarındaki basıncın devamlılığı ve güvenilirlik sınırlamalarına sahip bir su dağıtım şebekesinin optimal tasarımı için kullanılabilir bir modelin temel çerçevesini vermişlerdir. Güvenilirlik, su dağıtım şebekelerindeki muhtemel boru patlamalarında bağlantı noktalarındaki basınç farklarının karşılaştırılabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Model genelde birbirine bağlı üç alt modelden oluşmaktadır. Dengeli halde bir simülasyon modeli, bir güvenilirlik modeli ve optimizasyon modeli, simülasyon modeli süreklilik ve enerji kısıtlamalarını çözmek için kullanılır. Bu bilgiler güvenilirlik modelinde en az kesinti durumlarını tanımlamakta kullanılır. Kesinti durumu metoduna dayandırılan güvenilirlik modeli, sistemin ve bağlantı noktalarının güvenilirlik değerlerini belirler. Optimizasyon modeli genelleştirilmiş azalan eğim metodlarına dayanmaktadır. Modelin amacı süreklilik, Enerji tasarrufu bağlantı yerlerindeki basınçlar ve güvenilirlik sınırlamalarına maruz olan bir su dağıtım şebekesinin maliyetini en aza indirmektir. Model, su dağıtım şebekesi tasarımıdaki geçerliliğinin test edilmesi amacıyla bazı basit şebekelerde kullanılmıştır. Bu model aynı zamanda mevcut bir dağıtım şebekesinin mevcut boru çaplarının sabit değerlere bağlanması ve şebekenin optimizasyonu içinde kullanılabilir. Şebekenin optimal tasarımı mevcut sistemin güvenilirliğinin bir fonksiyonudur. Modelin avantajları şunlardır. a) güvenilirliği optimizasyon modeli ile başarıyla birleştirilmiştir. b) Bir su dağıtım şebekesinde optimal (asgari maliyetli) bir tasarım ortaya çıkarırken süreklilik, enerji tasarrufu, bağlantı noktalarında basıncın sürekliliği ve güvenilirlik sınırlamalarını da gerçekleştirmiştir. Bu modelin iki dezavantajı vardır. birincisi sonuçta elde edilen boru ebatları piyasada bulunmayan çaplarda olabilir, dolayısıyla en yakın uygun ölçüye yuvarlamak zorunda kalınabilir. Bu yuvarlanan boru çapları sonuçtaki optimal çözümün fizibilitesini etkileyebilir ve bu problemi çözmek için araştırmalara devam edilmektedir. İkinci dezavantaj ise modelin büyük gözlü şebekelerde optimal tasarımı belirlemek için önemli ölçüde hesaplama zorluğu çıkabilir. Bu model için gerekecek hesaplama süresi, boru adedine göz adedine ve daha az olmakla birlikte optimizasyonda kullanılan başlangıç çözümlerine bağlıdır.

Kevin E. Lansey ile Chuda Basnet, 1991 yılında su dağıtım şebekelerine ait parametrelerin belirlenmesi üzerine bir metod belirlenmiştir. Problem lineer olmayan bir program yardımıyla formüle edilmiştir ve büyük sayıdaki sınırlamaları gidermek için bir simülasyon metodu kullanılmıştır.

Gerekli olan eğimler lineer denklem takımları yardımı ile iyi bir şekilde hesaplanmıştır. Bu model sayesinde birçok bilinmeyen parametresi bulunan kompleks sistemler çözülebilir.

F. Bouchart ve I. Goulter, 1991 yılında su dağıtım şebekelerinde vana yerlerinin düzenlenmesi ile güvenilirliğin artırılması üzerinde yaptıkları çalışmada su dağıtım şebekelerinin bellibir veya birkaç bölgede suya olan gerçek talebin tasarımında öngörülen talebi aşması veya iki nokta arasındaki borularda arıza olması nedeni ile devre dışı kalır. Bu tip arızaların meydana gelmesi halinde beslenen su yetersiz kalır ve suyun hacmindeki azalma miktarıyla kendini belli eder. Bu arıza tiplerinin belirtilmesi ölçüm yoluyla hesaplara aktarılması tek bir güvenilirlik ölçüsü elde etmemizi sağlar. Boru hattındaki arıza tipinden dolayı suda meydana gelen azalmayı gidermenin çaresi, Boru hattında patlama olduğunda o bölümün sistemden ayrılabilmesi için vanalarla bölünmüş olmalıdır. Borunun izole edilmesi, borunun o kısımdan su alan kullanıcılarında susuz kalması demektir. bu durumda beslamada meydana gelen noksanlık, boru hattının onarım için kesilen kısımdaki su talebi olarak karşımıza çıkar. Tedbirler gerçekte talebin normal olarak hem simülasyonlarında hemde optimizasyon modellerinde kabul edildiği gibi yalnızca hatların uçlarındaki bağlantı noktalarında yoğunlaşmadığı, hat boyunca dağılmış olduğu düşünülürse daha önce öngörülen güvenilirlik parametrelerini aşmaktadır. Sistemin güvenilirliği yetersiz bulunursa bu durum iki şekilde giderilebilir. Birisi bağlantı noktalarında tasarıma esas olan talebin artırılması ve dolayısıyla gerçek talebin bir miktarı aşmasının önlenmesi diğeri ise daha fazla vana koyarak arıza halinde onarım için hat boyunun kısaltılması dolayısıyla kesinti esnasında su akmayacak kullanıcı adedinin azaltılmasıdır.

Gustavo Ayala ile James A. Ligett, 1991 yılında hasarlı boru şebekelerindeki akış ile ilgili yaptıkları çalışmada su dağıtım şebeke sistemlerinin analizinde ortaya çıkan negatif basıncın düzelmesi için yaklaşık bir algoritma önerilmektedir. Problemin nedenlerinden çok, çözümü üzerinde durulmuştur. Bu formülasyon, her düğüm noktası

için süreklilik denklemleri ve her bir boru için yük kaybı denklemi kullanılarak oluşturulan bir şebekedeki denklem sisteminde dayandırılmıştır. İki durum söz konusu olabilir. Birincisinde negatif basıncın giderilmesi için düğüm noktasına gelen tüm boruların boşaltılması diğerinde ise negatif basıncın giderilmesi bazı boruların açık kanal şeklinde kısmen dolu olarak akması durumunu ortaya çıkarır. Açıklanan bu iki örneğin amacı yaklaşık hesap yapma yönteminin uygulanabilirliğini göstermek olup birinde hayali ve basit bir şebeke diğerinde ise büyük bir şehrin su ihtiyacı göz önüne alınmıştır.

Burada, önerilen yaklaşım negatif basıncın önlenemediği sistemdeki kaçakların veya vakum kırıcı vanaların bulunmadığı şartlardaki boru şebekelerinin incelenmesidir.

Okitsugu Fujiwara, Hoang Dounq Tung, 1991 yılında su dağıtım şebekeleri için bir güvenilirlik artırma yöntemi önerilmektedir. Tahmin edilen maksimum toplam verilen suyun talep edilen miktara oranı güvenilirliğin bir ölçüsüdür. Mükemmel hat arızaları ve şebekenin güvenilirliği de düşünülerek verilen azami su miktarını hesaplamak için lineer olmayan maksimum akış modeli kullanılmıştır. Güvenilirlik boru çapı büyütülerek geliştirilmiştir. Boru çapındaki büyüme marjinal güvenilirliği marjinal maliyete oranı olarak belirlenmektedir. Bu metod şebekenin simetrik olması halinde simetrik tasarım verir.

P.W. Jowitt ve Chengchao Xu, 1993 yılında su dağıtım şebekelerindeki çeşitli boru arıza durumlarının etkisinin tayin edilmesi için pratik bir yol önermişlerdir. Bu metod sayesinde şebekenin herhangi bir noktasında meydana gelen arızanın giderilmesinde yeni bir şebeke analizine ihtiyaç kalmaz. Metodu kullanmak için bir şebeke konfigürasyonlarının bilinmesi ve normal şebeke analizinde halihazırda var olan bir grup tipik işletme şartlarına ihtiyaç vardır. Bundan mümkün olan bütün arıza durumlarını kapsayan detaylı lineer olmayan şebeke analizinden kaçınılır. Farklı kalitede birkaç kaynaktan su verilen şebekelerde bazı basit yöntemler şebekenin her noktasındaki biokemikal kalitesi saptamak için kullanılır. Metodun sonuçları şebekenin güvenilirlik ölçümlerinin belirlenmesinde boru arıza olasılıkları ile birleştirilebilir.

Don J. Wood, Srinivasa Reddy ve J. E. Funk, 1993 yılında kısa ve büyük çaplı şebekelerde boru birleşim noktalarındaki enerji transferi ve geniş kazanılmayan enerji kayıpları önemli bir özellik taşıdığını tesbit etmiştir. Bir şebeke hidroliğinin hesaplanmasında birleşim noktasındaki etkilerin göz ardı edilmesi kabul edilemez ve sabit kayıp katsayısı kullanımı yeterli olmayabilir. Çalışmada deneysel verilere dayalı kesin ilişkiler kesişim noktasındaki kayıp katsayılarının bulunması için kullanılır. Akış durumuna bağlı olan bu ilişkiler, bir bilgisayarlı şebeke analiz modeli içinde ele alınır. Akış oranlarındaki önemli sapmalar sabit birleşme katsayıları kullanılarak hesaplanır. Bu aynı zamanda şunu gösterir ki birleşimde her zaman için net bir enerji kaybı olmasına rağmen bir akıştan diğerine önemli bir enerji değişimi de olabilir.

Rafael Peres, Fernando Martinez ile Antonio Vela, 1993 basınç düşürücü vanalar kullanarak şebeke tasarımının geliştirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmalar hidrolik şebekelerin ekonomik tasarımını bir süredir araştırmakta olduğunu tesbit etmişlerdir. Boru hatları araştırmanın ana konusunu teşkil etmektedir çünkü bir şebeke yatırımında en büyük payı oluşturmaktadır. Boru maliyeti çapla birlikte artar, ilave olarak seçilen malzemeye ve boru et kalınlığına bağlıdır. Ancak ellerinde bulunan optimizasyon yöntemleri hidrolik kapasiteye göre boru maliyeti ilişkisini ortaya koyan değişken olarak boru çapını hesaba katmaktadır. Burada sulama sistem yatırımlarında tasarruf sağlamak için yalnız boru çapını değil başka faktörleride hesaba katan ve optimal tasarım sağlayan bir yöntem önerilmektedir. Aşağı eğim ile taşınan su borularındaki basıncın düşürülmesi için basınç düşürücü vanaların kullanımı ve dolayısı ile bu boruların et kalınlığının ve buna bağlı yatırım maliyetinin azaltılması için optimal çözümler tanımlanmaktadır. Basınç düşürücü vanalar sulama hatlarında sıklıkla kullanılan elemanlar olduğundan bunların yerleştirilmesi için optimal çözümler uygulanması yatırım maliyetinde önemli tasarruf sağlayabilir. Yöntem, dinamik programlama formülasyonuna dayanmaktadır. Yöntem pratikte yararlı olabilecek şu özellikleri taşır. a) Kullanılacak basınç düşürücü vanaların optimizasyonu şebekenin hidrolik olarak ebatlandırılmasında (çaplarında) bağımsız olarak yapılır. b) Basınç düşürücü vanaların basınç ayarları ve yerleştirilmeleri iki ayrı karar aşamasında oluşur. Böylece tasarımcı sunulan farklı olan bir basınç değeri seçebilir.

III BÖLÜM

BORU ŞEBEKELERİNİN LİNEER VE NONLİNEER MODELLEMESİ

3.1. Giriş

Bu bölüm boru şebekelerinin analizleriyle ilgilidir. Özellikle de boru şebekelerinin daha yaygın tipi olan su dağıtım sistemleri vurgulanacaktır. Şehir suyu şebekeleri yaklaşık her 500 metrede birbirlerine bağlantılı olan bir boru sistemidir. Şebeke suyun herhangi bir boruda hareketsiz olmasından kaçınılarak, tüm borulardan akması esasına dayalı olarak dizayn edilir. Aynı zamanda suyun herhangi bir dağıtım noktasına birden fazla yolla ulaşması mümkün olmalıdır. Aksi takdirde dağıtımın bir borudaki arıza ya da onarımda kesilmesi söz konusu olabilir.

Su dağıtım sistemi dizaynı aşağıdaki iki ana faktöre dayalıdır:

- a) Akım talebi
- b) Sistemin dayanması gereken basınçlar

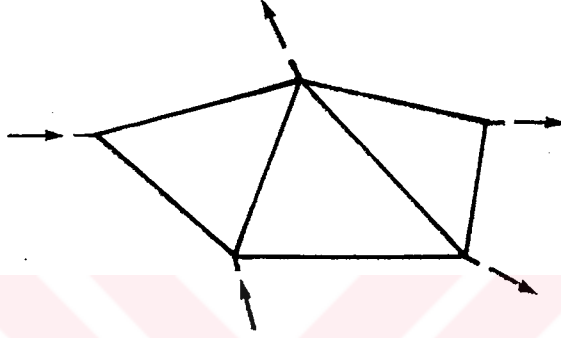
Akım talebi düşünülen dağıtım sisteminin tipine ve ölçüsüne bağlıdır. Örneğin, konutlardaki su dağıtım şebekelerinde talep; günde kişi başına 200 lt tüketim esasına dayalı olarak hesaplanır. Öte yandan basınçlar da önemlidir, çünkü borulardaki suyun akımı basınç değişimi (yükselmesi, alçalması) ile saptırılır. Düşük basınçlar dağıtımda problemlere yol açarken, büyük basınçlarda enerji kayıpları yüksek olacaktır. Standart su şebekelerinde basınçlar 20 ile 60 N/cm² arasındadır. Boruların en azından 7.5 cm çapında olması düşünülür. Enerji kayıpları, özellikle sürtünmeden dolayı 500 m lik bir boruda 0.2 ile 1.5 m arasındadır. Daha küçük çaplı borular için daha fazla olabilirler.

Boru şebekeleri analizleri normal olarak bilgisayar programları kullanılarak yapılır. Sistem bir elemanlar serisidir bunlar; boruların belirli sayıda düğümlerle bağlanması şeklindedir (Şekil 3.1' de görüldüğü gibi). Boru ölçüleri, şebekenin geometrik boyutları, ve düğümlerdeki tüketim detayını oluşturur. Sistem her bir düğümdeki enerji yükü ve her bir borudaki bilinmeyen debi için çözümlenmelidir.

Boru şebeke analizleri en iyi şekilde sistem yaklaşımı kullanarak bilgisayar ile yapılır. Bunun için ilk basamak, iki düğüm arasında enerji yükleri farkı, yani yük kaybı ve eleman debisini belirlemek üzere her bir elemanı tek başına dikkate almaktır.

İkinci adım sistem düğümlerinde denge kurmaktır. Bu da düğüme ulaşan debinin

düğümünden çıkan (tüketimi kapsayan) debiye eşit olmasını gerektirir. Bu gereksinim, tüm şebekenin davranışını kontrol edecek benzer denklem sistemlerinin oluşmasını sağlayacaktır. Bu denklem sisteminin çözümü, şebeke düğümlerinin herbirinde enerji yüklerinin değerlerini verecektir. Sonuç olarak eleman düzeyine dönersek her bir eleman için yük kayıpları, bunların uç düğümlerindeki enerji yüklerinden hesaplanır ve eleman debisi de yük kayıplarından hesaplanır, böylece şebeke çözümü tamamlanmış olur.



Şekil 3.1. Su şebekesi şeması

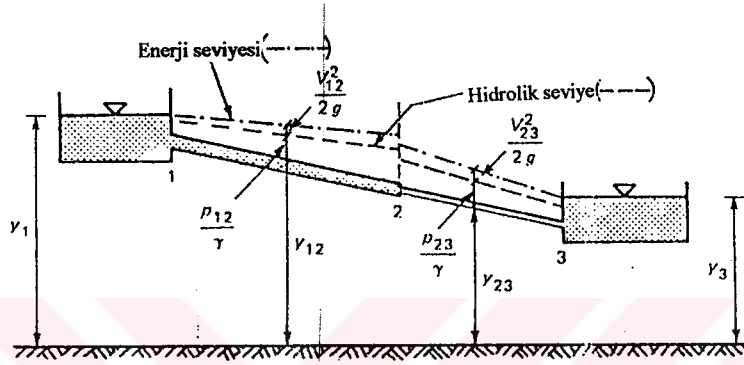
Yukarıda sözü edilen analizdeki kritik adım, tek bir elemanın davranışlarının saptanmasıdır. Bunun için iki farklı alternatif bu bölümde tartışılacaktır. İlki elemandaki debi ve yük kaybı arasındaki lineer bağıntıyı veren Poiseuille bağıntısının esas alınmasıdır.

Elde edilen formül, basit olmasına karşın tam olarak doğru değildir. İkinci alternatif daha hassas sonuçlar veren, genellikle pratikte kullanılan Hazen-Williams formülüne dayanmaktadır. Eleman debisi ve yükü arasındaki ifade daha karmaşık bir bağıntıya sahiptir.

3.2. Enerji Kayıpları

Bernoilli' ye göre bir boru boyunca herhangi bir noktada toplam yük; hız yükü, basınç yükü ve durum yükünün toplamıdır. Enerji yükü tüm bu yükseklığın toplamını verir (Şekil 3.2), burada sürtünme kayıplarından dolayı enerji hattı eğimlidir. Hidrolik (piyozametrik) seviye denilen hat, basınç yükleri ve durum yükünün toplamıdır ve sonuç olarak toplam enerji seviyesinin altındadır.

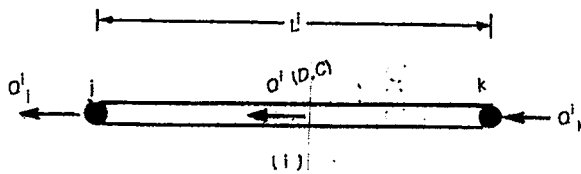
Eğim de hidrolik eğim diye adlandırılır. Eğer hız yükü küçükse iki hat pratik olarak çakışır. Hidrolik eğim, borudaki basıncı vermesi ve buna göre tasarım yapılabilmesine olanak tanınması bakımından önemlidir.



Şekil 3.2. Enerji ve hidrolik seviyeleri

3.3. Elemanların Analizleri

Şebekenin tüm düğüm noktaları ve elemanları tanımlandıktan sonra her eleman için debi ile yük kaybı arasında bir bağıntı tanımlanmalıdır. j ve k düğüm noktalarını bağlayan bir elemanı Şekil 3.3 'de gösterilmiştir. j ve k düğümlerindeki yük değerleri sırasıyla H_j ve H_k diye adlandırılır.



Şekil 3.3. Boru elemanı : D, boru çapı; C, pürüzlülük katsayısı; L, boru uzunluğu

Bir eleman için toplam yük kaybı ΔH^i

$$\Delta H^i = H_k - H_J \quad (3.1)$$

ile verilir. Elemanın akım hızı V^i ile gösterilecektir.

Elemandan geçen debi

$$Q^i = \Omega^i V^i \quad (3.2)$$

dir. Burada Ω^i boru enkesit alanıdır.

Şebekenin analizinde ilk adım, elemanın düğüm noktaları arasındaki yük kaybı ile debi arasında bağıntının bulunmasıdır, bu da 2.bölümde sözü edilen formüllerden herhangi biri kullanılarak elde edilebilir. Örneğin Poiseulle ifadesi aşağıdaki şekilde yazılmıştır:

$$\Delta H = \frac{32 \mu L}{\rho g D^2} V \quad (3.3)$$

ΔH , L mesafesinde iki nokta arasındaki yük kaybı, μ akışkanın viskozitesi, ρ akışkanın özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, D boru çapı, V akım hızıdır. Bu denklemden V 'nin elde edilmesi için aşağıdaki gibi düzenlenirse

$$V = \frac{\rho g D^2}{32 \mu L} \Delta H \quad (3.4)$$

elde edilir.

Burada da debi

$$Q = \Omega V = \frac{\Pi \rho g D^4}{128 L \mu} \Delta H \quad (3.5)$$

şeklinde yazılır.

Bu denklem i elemanı için yazılırsa

$$Q_i = k^i \Delta H^i \quad (3.6)$$

yi verecektir.

Burada

$$k^i = \frac{\Pi \rho g D_i^4}{128 L \mu} \quad (3.7)$$

dır.

D_i ve L_i sırasıyla elemanın boru çapı ve uzunluğudur. k^i nin yalnızca i elemanının ve akışkanın özelliklerine bağlı bir sabit olduğuna dikkat edilmelidir, eleman için debi ve yük kaybı arasındaki ilişki lineerdir, bu da tüm analizlerin daha basit olmasını sağlayacaktır. Ancak Poiseulle formülünün getirdiği bazı kısıtlamalar, bu yaklaşımın kullanılmasıyla elde edilen sonuçların yeterince hassas olmamasına yol açar. Yine de, bir matris analiz programı için gereken temel adım ve kavramların tanıtılması ve daha detaylı uygulamalar için bir örnek teşkil etmesi bakımından, bu formül kullanılarak basit bir program oluşturulacaktır.

Daha hassas sonuçlar Hazen-Williams formülü kullanarak elde edilebilir. Bu formül (2.42 denklemine bak)

$$V = 0.3545 c D^{0.63} \frac{h_J^{0.54}}{L^{0.54}} \quad (3.8)$$

eşitliğini verir.

Bu nedenle, Q debisinde, yük kaybı $h_{J_} = \Delta H$ cinsinden yazılırsa

$$Q = \Omega V = \left(0.2784 \frac{c D^{2.63}}{L^{0.54}} \right) \Delta H^{0.54} \quad (3.9)$$

şeklinde ya da

$$Q = k \Delta H^{0.54} \quad (3.10)$$

olarak verilir.

Burada

$$k = \left(0.2784 \frac{c D^{2.63}}{L^{0.54}} \right) \quad (3.11)$$

dir.

Hazen-Williams formülü i elemanına uygulanırsa

$$Q^i = k^{-i} (\Delta H^i)^{0.54} \quad (3.12)$$

olur.

Buradaki k^{-i} sabitinin (3.11) denkleminde yararlanarak hesaplanması gerekmektedir. Bu durumda, eleman debisi ve yük kaybı arasındaki bağıntının nonlineer olduğuna dikkat edilmelidir.

Bu eşitlik (3.12) aynı zamanda

$$Q^i = \frac{k^{-i}}{(\Delta H^i)^{0.46}} \Delta H^i \quad (3.13)$$

şeklinde veya

$$Q^i = k^i \Delta H^i \quad (3.14)$$

olarak da yazılabilir

Bu da (3.6) denkleminde benzerdir. Burada elde edilen k^i nin, Poiseulle 'nin formülü kullanarak elde edilen sabitten farklı olduğuna dikkat edilmelidir. Aslında k^i , ΔH^i yük kaybının değerine bağlı olduğundan artık sabit değildir. Ancak notasyon çoğalmasından kaçınmak için aynı sembol kullanılır.

3.4. Eleman Matris Denklemleri

(3.14) denklemi, i elemanı için debiyi, iki düğüm noktası arasındaki yük kaybı cinsinden hesaplama imkanı verir. Bu debi, k düğüm noktasından j ye giderken pozitif olacaktır, bu da k düğüm noktasında j düğüm noktasından daha fazla yük olması anlamına gelir. Ayrıca elemanın her bir düğüm noktasındaki debi tanımlanabilir. Düğüm noktasındaki debinin, düğüm noktasının içine giderken pozitif, tersi ise negatif olacağı kabul edilecektir. Şekil 3.3 'de gösterildiği gibi Q_k^i , k düğüm noktasındaki debi, Q_j^i , j düğümü noktasındaki debidir. Bu nedenle

$$\begin{aligned} Q_k^i &= k^i \Delta H^i = k^i (H_k - H_j) \\ -Q_j^i &= -k^i \Delta H^i = -k^i (H_k - H_j) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Bu iki denklem matris notasyonu kullanılarak

$$\begin{Bmatrix} Q_k^i \\ Q_j^i \end{Bmatrix} = k^i \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_k^i \\ H_j^i \end{Bmatrix} \quad (3.16)$$

şeklinde ya da

$$Q^i = k^i H^i \quad (3.17)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada

$$Q^i = \begin{Bmatrix} Q_k^i \\ Q_r^i \end{Bmatrix}$$

elemanın düğüm noktasındaki debi vektörüdür

$$k^i = k^i \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.18)$$

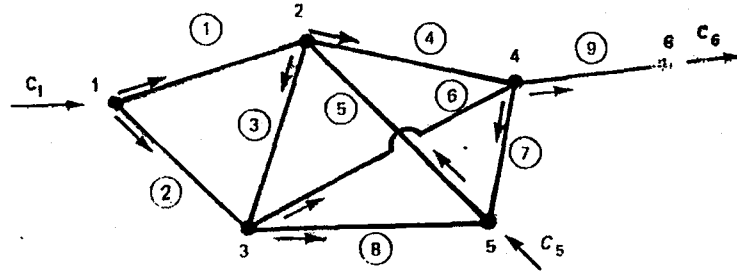
elemanın karakteristik matrisidir ve

$$H^i = \begin{Bmatrix} H_k \\ H_r \end{Bmatrix} \quad (3.19)$$

elemanın düğüm noktasındaki yük vektörüdür.

3.5. Denklemlerin Toplam Sistemi

Şimdiye kadar şebekedeki elemanlar ayrı ayrı dikkate alındı ve düğüm noktasındaki yükler cinsinden debileri veren ifadeler elde edildi. Tüm şebekeyi incelemek için, bunun yanısıra farklı elemanlar arasındaki birebir etkileşim hesaba katılmalıdır. Şebekenin herhangi bir düğüm noktasında, o düğüm noktasında bağlı elemanların debileri arasında bir dengenin varolması gerekir.



Şekil 3.4. Boru şebekesi

Şekil 3.4 genel bir boru şebekesinin basit bir modelini gösterir. Düğüm noktaları ve elemanlar tanıtm amacıyla numaralandırılmıştır. C_j miktarları her bir düğüm noktasındaki tüketimlerdir. Genelde herhangi bir C_j , akışkan girişi olduğunda pozitif, tüketim olduğunda ise negatif olacaktır.

Herhangi bir düğüm noktasındaki denge, düğüm noktasına bağlı elemanların debilerinin toplamının tüketime eşit olması demektir. Herbirinin uygun birer işareti vardır. Bu nedenle, herhangi bir j düğüm noktası için

$$\sum Q_j^i = C_j \quad (3.20)$$

dir. Yani, toplama işlemi j düğüm noktasına bağlı tüm elemanlar için yapılır.

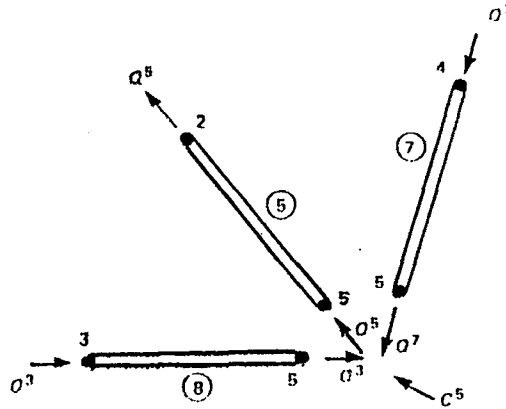
Örneğin, (3.20) denkleminin Şekil 3.4 'deki şebekenin 5. düğüm noktasına uygulanması

$$Q^5_5 + Q^7_5 + Q^8_5 = C_5 \quad (3.21)$$

verir. Buna ait detaylar Şekil 3.5 'de verilmiştir. Eleman debileri düğüm noktasındaki yükler cinsinden (3.16) denkleminde elde edilebilir. 5. düğüm noktasında birleşen üç eleman için karakteristik matris denklemleri ;

Eleman (5)

$$\begin{Bmatrix} Q^5_5 \\ Q^5_2 \end{Bmatrix} = k^5 \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_5 \\ H_2 \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$



Şekil 3.5. Düğüm 5 'deki denge

Eleman (7)

$$\begin{Bmatrix} Q_5^7 \\ Q_4^7 \end{Bmatrix} = k^7 \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} H_4 \\ H_5 \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

Eleman (8)

$$\begin{Bmatrix} Q_5^8 \\ Q_3^8 \end{Bmatrix} = k^8 \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} H_3 \\ H_5 \end{Bmatrix} \quad (3.24)$$

Yani

$$Q_5^5 = -k^5(H_5 - H_2)$$

$$Q_7^5 = -k^7(H_4 - H_5) \quad (3.25)$$

$$Q_8^5 = -k^8(H_3 - H_5)$$

Bu denklemler, (3.21) denkleminde yerlerine yazıldığında

$$-k^5H_2 - k^8H_3 - k^7H_4 + k^5H_5 + k^7H_5 + k^8H_5 = C_5 \quad (3.26)$$

ya da

$$-k^5H_2 - k^8H_3 - k^7H_4 + (k^5 + k^7 + k^8)H_5 = C_5 \quad (3.27)$$

elde edilir.

Bu denklem 5. düğüm noktası için denge ifadesini verir. Şebekenin diğer düğüm noktalarının herbiri için denge denklemleri benzer şekilde yazıldığında, herbiri denge denklemleri sisteminde bir satıra karşılık gelecektir.

Buna göre Şekil 3.4 'deki şebeke için denklemler sistemi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\begin{vmatrix}
 k^1+k^2 & -k^1 & -k^1 & 0 & 0 & 0 \\
 -k^1 & k^1+k^3+k^4+k^5 & -k^3 & -k^4 & -k^5 & 0 \\
 -k^2 & -k^3 & k^2+k^3+k^6+g & -k^6 & -k^8 & 0 \\
 0 & -k^4 & -k^6 & k^4+k^6+k^7+k^8 & -k^7 & -k^9 \\
 0 & -k^5 & -k^8 & -k^7 & k^5+k^7+k^8 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -k^9 & 0 & -k^9
 \end{vmatrix}
 \begin{matrix}
 \left[\begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{matrix} \right] \\
 * \left[\begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \\ H_6 \end{matrix} \right]
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 \left[\begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{matrix} \right] \\
 \left[\begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{matrix} \right]
 \end{matrix}$$

(3.28)

Kapalı gösterimde

$$KH = C$$

(3.29)

Burada K şebekenin karakteristik matrisi, H şebeke yük vektörü ve C şebeke tüketim vektörüdür.

K Şebeke karakteristik matrisinde herbir eleman dört kez yer alır. Örneğin 5 elemanı aşağıdaki şemada gösterilen katılımı verir :

| | Düğüm1 | Düğüm 2 | Düğüm 3 | Düğüm 4 | Düğüm 5 | Düğüm 6 |
|---------|--------|-----------------|---------|---------|-----------------|---------|
| Düğüm 1 | • | • | • | • | • | • |
| Düğüm 2 | • | +k ⁵ | • | • | -k ⁵ | • |
| Düğüm 3 | • | • | • | • | • | • |
| Düğüm 4 | • | • | • | • | • | • |
| Düğüm 5 | • | -k ⁵ | • | • | +k ⁵ | • |
| Düğüm 6 | • | • | • | • | • | • |

Bu katılımların 5 elemanı ile bağlanan 2 ve 5 düğüm noktalarına karşılık gelen satır ve sütunların kesişim noktaları olan (2,2), (2,5), (5,2) ve (5,5) pozisyonlarına eklenmelerine dikkat etmek gerekir. Yani her eleman, bağladığı düğüm noktalarına karşılık gelen satırların kesişim noktalarında katılımlar sağlar (diagonal pozisyonlar için pozitif, diagonal olmayanlar için negatif).

Böyle bir örnekten yararlanılarak, tüm sistem denklemleri birleştirilip sistematik bir şema haline getirilebilir. Böyle bir şemanın ilk adımı, herbir elemana karşılık gelen uç düğüm noktalarını gösteren bağlayıcı bir tablonun oluşturulmasını gerektirir. Örneğin Şekil 3.4 'deki şebeke için bağlayıcı tablo, Tablo 3.1 de verilmiştir. Böyle bir tabloyu oluştururken, her bir eleman için başlangıç ve bitiş düğüm noktalarını belirtmek gerekir. Elemanın hangi düğüm noktasının başlangıç ya da bitiş düğüm noktası olarak seçileceği, bu seçimin eleman debisi için pozitif yönü belirlemesi dışında önemli değildir. Pozitif bir debi başlangıçtan son düğüm noktasına kadar gidecektir. Bu pozitif yönler Tablo 3.1 'de verilen bağlayıcı için Şekil 3.4 'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Bağlayıcı Tablo

| Eleman | Başlangıç düğümü, k | Bitiş düğümü, j |
|--------|---------------------|-----------------|
| 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 3 |
| 4 | 2 | 4 |
| 5 | 5 | 2 |
| 6 | 3 | 4 |
| 7 | 4 | 5 |
| 8 | 3 | 5 |
| 9 | 4 | 6 |

Bağlayıcı tablo oluşturulduktan sonra, k^i katsayılar her eleman için hesaplanır, böylece elemana ait karakteristik matris elde edilir. Katsayıları sıfıra eşit olan bir matrisle başlandığında herbir eleman için aşağıdaki işlemler yapılır :

- 1) k^i katsayısı bağlayıcı tabloya göre (k,k) ve (j,j) pozisyonlarına eklenir
- 2) $-k^i$ katsayısı bağlayıcı tabloya göre (k,j) ve (j,k) pozisyonlarına eklenir

Tüm elemanlar için bu işlemler yapıldığında k matrisi elde edilir. Tüm sistem denklemlerini tamamlamak için düğüm noktasına ait tüketim vektörü C 'yi oluşturmak gerekir. Bu da herbir düğüm noktasındaki tüketimin, C vektöründe o düğüm noktasına karşılık gelen satıra eklenmesi ile yapılır. Birleşme şeması, K matrisinin birkaç ilginç özelliğini ortaya koyar. Özellikle aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir :

a) Eğer iki düğüm noktası, m ve n , birbirine bağlı değilse (m,n) ve (n,m) pozisyonlarına herhangi bir katılım olmayacak ve K matrisinin bu noktadaki değeri sıfıra eşit olarak kalacaktır. K matrisi, sadece her bir düğüm noktası şebekedeki diğer bütün düğüm noktalarına bağlı olduğu zaman tümüyle dolu olacaktır. Aslında çoğu büyük şebekeler için K matrisinin sıfırdan farklı katsayıların adedi oldukça az olduğundan matris seyrek (sparse) formundadır.

b) Bir katsayı (m,n) pozisyonuna eklendiğinde aynı zamanda onun simetrik pozisyonu olan (n,m) 'e de eklenir, yani K matrisi simetrik bir matris olur şöyle ki

$$k_{mn}=k_{nm} \quad (3.30)$$

(herhangi bir m ya da n için)

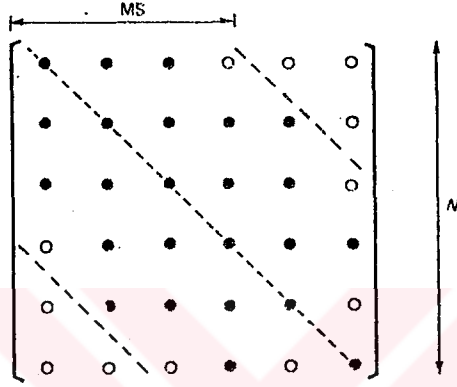
ya da

$$K=K^T \quad (3.31)$$

burada K^T , K matrisinin transpozesidir. Bu özellik bilgisayarda belleğin etkin kullanılması bakımından çok yararlıdır. Çünkü, k_{mn} ya da k_{nm} den biri mevcutsa, diğeri de biliniyor demektir. Yani simetrik bir matris için sadece ana diagonaldeki katsayıları ve ana diagonalin altındaki veya üstündeki katsayıları depolamak gereklidir.

Bu yüzden bir $N \times N$ sistemi için, N^2 adet katsayı yerine, depolama ihtiyaçlarını neredeyse yarıya düşüren, $(N^2-N)/2+N$ adet katsayıyı depolamak yeterli olacaktır. Örneğin; $N=100$ için 10,000 adet katsayı yerine yalnızca 5,500 adet katsayının depolanması yeterli olacaktır.

c) Sıfırdan farklı katsayı için ' • ' sembolünü ve sıfır katsayısı için ' o ' sembolünü kullanarak k matrisi Şekil 3.6 'daki gibi gösterilir. Sıfırdan farklı katsayılar, merkezi ana diagonal olan bir bant içinde bulunur. Bant dışındaki tüm katsayılar sıfırdır. Bantın içindeki katsayıların çoğu sıfırdan farklıdır, bununla birlikte bant, bazı sıfır katsayıları da kapsayabilir. Ana diagonaldeki tüm katsayılar, fiziksel olarak imkansız olan, herhangi bir elemana bağlı olmayan izole edilmiş düğüm noktaları olmadıkça sıfırdan farklıdır.



Şekil 3.6. K matrisinin düzeni

K matrisi gibi matrisler bant matrisler olarak adlandırılırlar. K 'nın diğer bir özelliği bantlı simetrik matris olmasıdır. Bu bant, bellek gereksiniminin azaltılması bakımından iyi bir avantaj sağlamaktadır. Bant matrisin boyutunu belirlemek için iki nicelik gerekir. Bunlar, Şekil 3.6 'da gösterilen yarı-bant genişliği (MS) ve N, bilinmeyen sayısıdır. $N=100$ ve $MS=20$ için bant ve simetriden dolayı 10,000 den ziyade yalnızca 2000 adet katsayıyı depolamanın yeterli olduğuna dikkat edilmelidir. Büyük sistemler, küçük yarı bant genişliklerine sahip olma eğiliminde olduklarından bellek kullanımında daha fazla tasarruf olanağı tanırırlar.

Bir sistemin bantı, düğüm noktalarının sıralanış şekline bağlıdır. Yarı-bant genişliğini hesaplamak için, birbirine bağlı herhangi iki düğüm noktasının numaraları arasındaki maksimum farkı bulmak gereklidir. Yarı-bant genişliği bu maksimum farkın bir fazlasına eşittir, çünkü diagonalı de kapsar. Örneğin, Şekil 3.4 'deki şebeke için maksimum farkın, Tablo 3.1 'e bakıldığında 2 ve 5 numaralı düğümleri bağlayan 5 elemanı ile verildiğini ve 3 'e eşit olduğunu görmek mümkündür. Bu yüzden bu sistem için yarı-bant genişliği 4 'e eşit olacaktır.

3.6. Sınır Koşulları

Denklemlerin tüm sistemi çözülmeye önce, en azından bazı şebeke düğümleri için uygun sınır koşullarını tanıtmak gereklidir. Bir şebekenin düğüm noktaları için tanımlanan iki tip nicelik vardır ; bunlar yükler ve tüketimlerdir. Bu durumda, verilen herhangi bir düğüm için sınır koşulları, mevcut iki olasılıktan, yani yük veya tüketimden biri ile ilgili olacaktır.

Düğüm noktası ile ilgili bilinmeyenler yükler olduğundan, bir yükün belirlenmiş olması toplam denklem sisteminin mertebesini azaltacaktır. Örneğin, aşağıdaki 3. mertebeden denklem sistemi ele alındığında

$$\begin{aligned} k_{11}H_1 + k_{12}H_2 + k_{13}H_3 &= C_1 \\ k_{21}H_1 + k_{22}H_2 + k_{23}H_3 &= C_2 \\ k_{31}H_1 + k_{32}H_2 + k_{33}H_3 &= C_3 \end{aligned} \quad (3.32)$$

ikinci bilinmeyen

$$H_2 = \bar{H}_2 \quad (3.33)$$

şeklinde tanımlanıyor ise, yani \bar{H}_2 artık bilinen bir değer olduğundan, daha önce bilinmeyen bir değer olan H_2 'yi kapsayan terimler her bir denklemin sağ tarafına aşağıdaki gibi alınabilirler :

$$\begin{aligned} k_{11}H_1 + k_{13}H_3 &= C_1 - k_{12}\bar{H}_2 \\ k_{21}H_1 + k_{23}H_3 &= C_2 - k_{22}\bar{H}_2 \\ k_{31}H_1 + k_{33}H_3 &= C_3 - k_{32}\bar{H}_2 \end{aligned} \quad (3.34)$$

burada bilinmeyenlerden bir fazla denklem vardır. İkinci denklemini ihmal etmek 2. mertebeden aşağıdaki denklem sistemine yol açar :

$$\begin{aligned} k_{11}H_1 + k_{13}H_3 &= C_1 - k_{12}\bar{H}_2 \\ k_{31}H_1 + k_{33}H_3 &= C_3 - k_{32}\bar{H}_2 \end{aligned} \quad (3.35)$$

bu da H_1 ve H_2 için çözümlenebilir. Bu nedenle, tanımlanan bir bilinmeyen \bar{H}_j değerini sisteme yerleştirmek üzere, düğümle ilgili tüketim vektörünün i . pozisyonuna $k_{ij}H_j$ terimini eklemek yeterli olacaktır. Bu işlem, i 'nin 1'den N 'e kadar değerler aldığı bir aralıkta, ancak $i \neq j$ değerleri için yapılacak ve daha sonra j denklemi elimine edilecektir.

Yukarıda anlatılan yöntem el ile hesaplamalarda çok uygun olmasına rağmen, bilgisayar uygulamalarında yetersiz olabilir. Esas problem; daha önceden birleştirilip düzenlenmiş sistemden bir denklemin eliminasyonunun, kalan denklemleri yeniden sıralamayı gerektirmesi ve bunun da bilgisayarlar için çok zaman kaybettirici bir işlem olmasıdır. Bu yüzden, bu tür yeniden sıralamalardan kaçınmak için, j sırasını tümüyle atmaktansa aşağıdaki sistemdeki gibi (3.33) denklemiyle yer değiştirerek kullanmak tercih edilir :

$$\begin{aligned} k_{11}H_1 + 0 + k_{13}H_3 &= C_1 - k_{12}\bar{H}_2 \\ H_2 &= \bar{H}_2 \\ k_{31}H_1 + 0 + k_{33}H_3 &= C_3 - k_{32}\bar{H}_2 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Bu da (3.35) deki sistemin, (3.33) denklemi ile toplamına eşittir ve yeniden sıralmayı gerektirmez. (3.36) sistemi aşağıdaki gibi yazıldığında

$$\begin{bmatrix} k_{11} & 0 & k_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ k_{31} & 0 & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_1 - k_{12}\bar{H}_2 \\ \bar{H}_2 \\ C_3 - k_{32}\bar{H}_2 \end{Bmatrix} \quad (3.37)$$

belirlenen yükler için sınır koşullarının tanıtılması, yeniden sıralamayı gerektirmeden, aşağıdaki adımlar yerine getirilerek uygulanabilir:

- Belirlenen bilinmeyen \bar{H}_j nin katkısı düğüm noktasına ait tüketim vektörüne eklenir.
- K matrisinin j . satırı ve j . sütunu sıfırlanır.
- K matrisinin (j, j) katsayısı 1'e eşitlenir.
- Düğüm noktasına ait tüketim vektörünün j . katsayısı \bar{H}_j ye eşitlenir.

İkinci tipte, yani tüketimin belirlendiği bir sınır koşulu, tanımlanan tüketimin değeri düğüm noktasına ait tüketim vektörünün uygun pozisyonuna yerleştirilerek gerçekleştirilir.

Genelde şebekedeki her düğüm için yük ya da tüketimden sadece birinin bilinmesi gereklidir. Bunlardan hiçbiri verilmediğinde, düğüm noktasına ait tüketimin sıfıra eşit olduğu varsayılır ve bu durumda yük, bilinmeyendir. Sistemi çözmek için en azından bir yük, mutlaka tanımlanmalıdır. Debiler, yüklerin kendilerine değil de yüklerdeki farklılıklara bağlı olduklarından, gerektiğinde rasgele bir yükün tanımlanması, debilere ait sonuçları etkilemeyecektir.

3.7. Lineer Analiz İçin Denklem Sisteminin Çözümü ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Uygulanacak çözüm işlemi lineer olan ve olmayan formüller için farklı olacaktır. Lineer denklemler için, K matrisinin katsayıları sabit olduğundan, tüm denklem sisteminin yalnızca bir kere çözülmesi ve birleştirilmesi gereklidir. Önce bu durum ele alınacaktır. Lineer olmayan denklemler için, K matrisinin katsayıları yüklerle bağlı olduğundan sabit değildirler. Bu tür denklemlerin çözüm işlemleri daha sonra incelenecektir.

Lineer bir denklem sisteminin çözümünde herhangi bir standart bilgisayar programı kullanılabilir. Bununla birlikte, çoğu zaman kullanılan bilgisayar programları, Gauss eliminasyon tekniğini ya da onun varyasyonlarından bazılarını esas alır. Denklem sisteminin çözümü ile düğüm noktasına ait yüklerin daha önce bilinmeyen değerleri bulunacaktır. Bu değerler kullanılarak, her bir elemanın debisi hesaplanabilir. Bir düğüm noktasına bağlı elemanların debileri arasında denge kurmak, bu düğüm noktasına ait tüketimi verecektir. Tüketim verileri arasında yer aldığına, hesaplanan değerle karşılaştırılması çözümün doğruluğu hakkında bir fikir verecektir.

Örnek 3.1 : Şekil 3.7 'de gösterilen paralel boru sistemi, laminer akım için, aşağıdaki verilerle analiz edilmiştir:

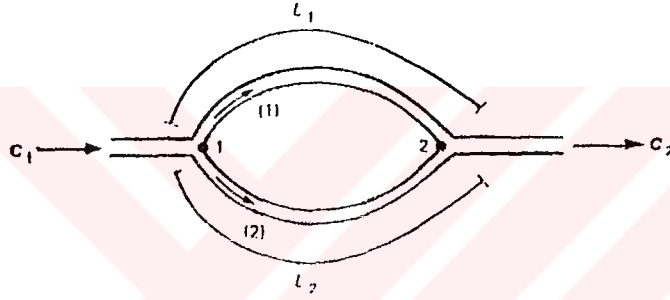
| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 numaralı düğümdeki yük | $H_1 = 10 \text{ m}$ |
| 2 numaralı düğümdeki tüketim | $C_2 = -2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ |
| 1 numaralı dalın uzunluğu | $L_1 = 1000 \text{ m}$ |
| 2 numaralı dalın uzunluğu | $L_2 = 2000 \text{ m}$ |

1 numaralı dalın çapı
2 numaralı dalın çapı
Suyun 20°C 'daki viskozitesi

$$D_1 = 0.1 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.2 \text{ m}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$



Şekil 3.7. Örnek 3.1. için boru şebekesi

1 ve 2 numaralı dallar için k^i sabitleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$k^1 = \frac{\pi \rho g D_1^4}{128 \mu L_1} = \frac{\pi g D_1^4}{128 \nu L_1} = \frac{\pi \cdot 9.81}{128 \cdot 10^6 \cdot 1000} 10^{-4} = 0.024 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$k^2 = \frac{\pi \cdot 9.81 \cdot 16}{128 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} 10^{-4} = 0.385 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Bu nedenle 1 ve 2 numaralı dallar için eleman denklemleri sırasıyla

$$\begin{cases} Q_1^1 \\ Q_2^1 \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.024 & -0.024 \\ -0.024 & 0.024 \end{bmatrix} \begin{cases} H_1 \\ H_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Q_1^2 \\ Q_2^2 \end{cases} = \begin{bmatrix} 0.385 & -0.385 \\ -0.385 & 0.385 \end{bmatrix} \begin{cases} H_1 \\ H_2 \end{cases}$$

şeklinde olacaktır.

Sistemin birleştirilmesi

$$\begin{bmatrix} 0.024 + 0.385 & -0.024 - 0.385 \\ -0.024 - 0.385 & 0.024 + 0.385 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix}$$

veya

$$\begin{bmatrix} 0.409 & -0.409 \\ -0.409 & 0.409 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} H_1 \\ H_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix}$$

sonucunu verir.

$H_1 = 10$ m ve $C_2 = -2$ m³s⁻¹ olduğundan ikinci denklem

$$-0.409 H_1 + 0.409 H_2 = -2$$

veya

$$0.409 H_2 = -2 + 4.09 = 2.09$$

şeklinde yazılabilir ve bu şekilde

$$H_2 = \frac{2.09}{0.409} = 5.11 \text{ m}$$

olur.

Böylece

$$Q^1 = k^1(H_1 - H_2) = 0.024 (10 - 5.11) = 0.11735 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

$$Q^2 = k^2(H_1 - H_2) = 0.385 (10 - 5.11) = 1.88265 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

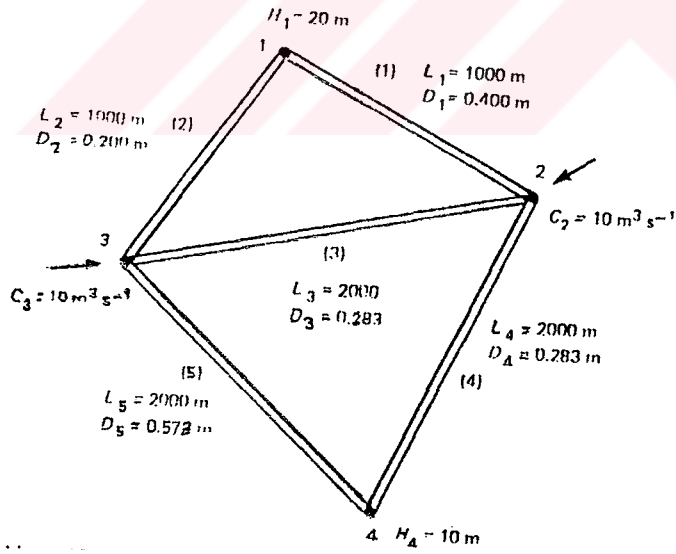
yazılabilir ve

$$Q^1 + Q^2 = 0.11736 + 1.88265 = 2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

elde edilmiş olur.

Örnek 3.2 : Bu örnek ile, Şekil 3.8 'de gerekli veriler ile birlikte verilen, şebekenin analizi yapılacaktır. Eleman verileri $\nu = 10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ alınarak aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

| Eleman | Uzunluk (m) | Çap (m) | k^i ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$) |
|--------|-------------|---------|--------------------------------------|
| 1 | 1000 | 0.400 | 6.164 |
| 2 | 1000 | 0.200 | 0.385 |
| 3 | 2000 | 0.283 | 0.772 |
| 4 | 2000 | 0.283 | 0.772 |
| 5 | 2000 | 0.573 | 12.977 |



Şekil 3.8. Örnek 3.2. için boru şebekesi

Sistem matrisi

$$K = \begin{bmatrix} 6.164 + 0.385 & -6.164 & -0.385 & 0 \\ -6.164 & 6.164 + 0.772 + 0.772 & -0.772 & -0.772 \\ -0.385 & -0.772 & 0.385 + 0.772 + 12.977 & -12.977 \\ 0 & -0.772 & -12.977 & 0.772 + 12.977 \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir.

Böylece toplam sistem

$$\begin{bmatrix} 6.549 & -6.164 & -0.385 & 0.000 \\ -6.164 & 7.708 & -0.772 & -0.772 \\ -0.385 & -0.772 & 14.134 & -12.977 \\ 0.000 & -0.772 & -12.977 & 13.749 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 20 \\ H_2 \\ H_3 \\ 10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ 10 \\ 10 \\ C_4 \end{bmatrix}$$

olur.

İkinci ve üçüncü denklemler

$$7.708H_2 - 0.772H_3 = 10 + 6.164 \cdot 20 + 0.772 \cdot 10$$

$$-0.772H_2 + 14.134H_3 = 10 + 0.385 \cdot 20 + 12.977 \cdot 10$$

veya

$$7.708H_2 - 0.772H_3 = 141.00$$

$$-0.772H_2 + 14.134H_3 = 147.47$$

verir.

Bu sistemin çözümü

$$H_2 = 19.43 \text{ m}$$

$$H_3 = 11.495 \text{ m}$$

dir.

1 ve 4 numaralı düğüm noktalarındaki tüketimler, toplam denklem sisteminin birinci ve dördüncü satırlarından yararlanarak değerlendirildiklerinde

$$C_1 = 6.459 \cdot 20 - 6.164 \cdot 19.443 - 0.385 \cdot 11.495 = 6.7$$

$$C_4 = -0.772 \cdot 19.443 - 12.977 \cdot 11.495 + 13.749 \cdot 10 = -26.7$$

elde edilir.

$$\sum_{i=1}^5 C_i = 6.7 + 10 + 10 - 26.7 = 0$$

olduğuna ve ayrıca

$$Q^1 = 6.164 (20 - 19.443) = 3.43$$

$$Q^2 = 0.385 (20 - 11.495) = 3.27$$

$$Q^3 = 0.772 (19.443 - 11.495) = 6.14$$

$$Q^4 = 0.772 (19.443 - 10) = 7.29$$

$$Q^5 = 12.977 (11.495 - 10) = 19.40$$

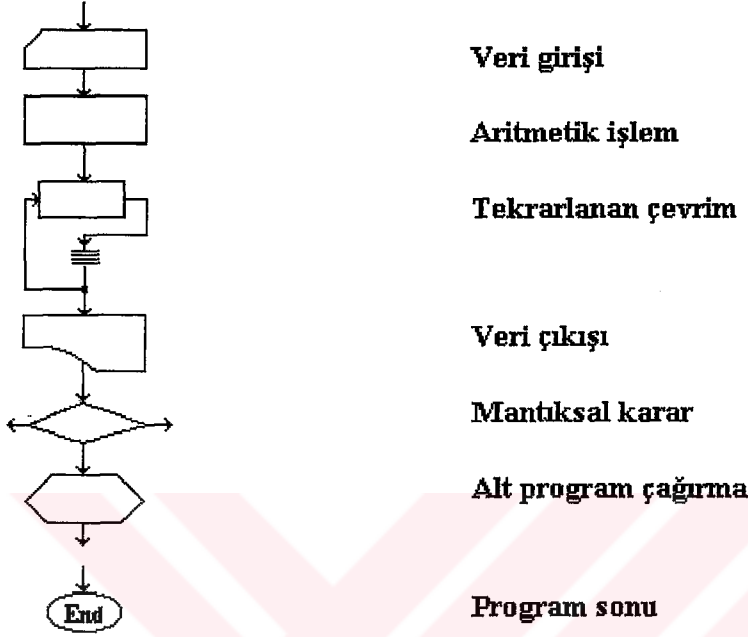
olduğuna dikkat edilmelidir.

3.8. Boru Şebekelerinin Lineer Analizi İçin Bilgisayar Programı

Bu bölümde, daha önce detayları açıklanan bilgisayar analizi metodu kullanılarak, boru şebekelerinin lineer analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programı tam olarak

verilecektir.

Tavsiye edilebilen akış şemaları sunulacağı zaman aşağıdaki semboller kullanılacaktır:



Fortran dilinin birçok versiyonu mevcuttur, bazıları diğerlerinden daha güçlüdür. Bununla birlikte, bu çalışmada verilen programlar çoğunlukla en temel Fortran terimleri kullanılarak yazıldığından pek çok makinede rahatça kullanılabilirler.

Herhangi bir bilgisayar programı oluşturulurken, bir yandan verim ve bütünlük, öte yandan açıklık ve genellik arasında bir denge oluşturmak gereklidir. Burada, problemin daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve benzer uygulamalarda da kullanılmak üzere kolaylıkla uyarlanabilecek bir program oluşturabilmek için son iki kriterine önem verilmiştir. Bunu başarmak için program, boru şebekesi analizine has özel işlemler, genel matris analizleri için yapılan işlemlerden ayrılarak bir dizi alt programlar halinde gerçekleştirilecektir.

Buradaki analiz işlemlerinde iki uç düğümlü lineer elemanlar kullanılmasına ve düğüm başına yalnızca bir bilinmeyen düşmesine karşın, daha sonra ele alınacağı gibi, diğer uygulamalarda ikiden fazla düğümlü elemanlar kullanılması ve düğüm başına birden fazla bilinmeyen olması da mümkündür. Bu nedenle, eleman başına iki düğüm ve düğüm başına yalnızca bir bilinmeyi ele almak, genel alt programları sınırlayacağından etkin bir yöntem

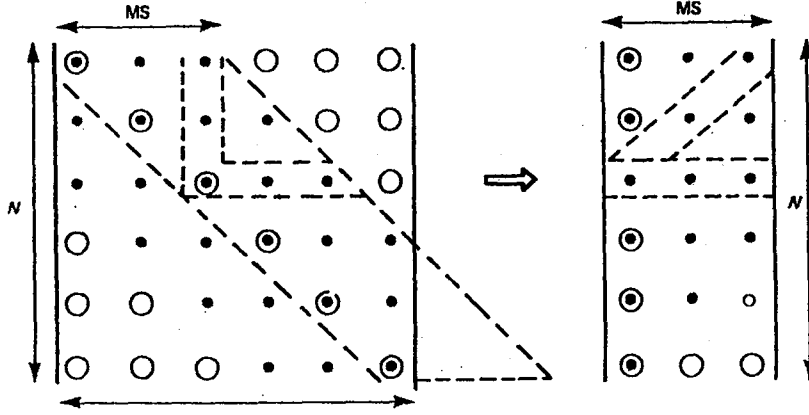
değildir. Bunun için, ana programda, NDF ve NNE değişkenlerine sırasıyla, serbestlik derecelerinin gerçek sayısı (veya düğüm başına bilinmeyenlerin sayısı), ve eleman başına düğüm noktası adedi atanır, ve tüm alt programlar bu değişkenlerin değerlerine göre işletilir. Böylece bu alt programlar, farklı tipteki uygulamalar için kullanıldıklarında değiştirilmelerine gerek kalmaz.

Temel alınan kriterler uygulamaların genelliği ve modülarite olsa da, verimliliğin de önemsenmesi gerekir. Bellek gereksinimlerini azaltmak için yapılacak çalışmalar, programın mikro bilgisayarlarda da kullanılabilmesi olanağını tanıyacaktır.

Mevcut bellek kapasitesinin etkin ve verimli kullanılmasında, önemli nokta sistem matrisini içeren diziye verilecek yapıdır. Tüm sistem matrisini depolamak üzere kare bir matrisin kullanılması, böyle bir dizi pek çok sayıda sıfır katsayılar ve tekrarlanmış bilgiler içereceği için oldukça verimsiz olacaktır. Sistem matrisinin bir banda sahip ve simetrik olduğu gerçeği gözönüne alınırsa, yalnızca ana diagonaldeki ve ana diagonalin üstünde ancak bant içinde yer alan katsayıları depolamak yeterli olacaktır. Depolama, Şekil 3.9 'da gösterildiği gibi, dikdörtgen şeklinde bir dizide satırlar halinde yapılacaktır. Yarı-bant genişliği MS olarak adlandırılmıştır. Depolama, ana diagonaldeki katsayılar ile başlayan satırlar şeklinde yapıldığından, ana diagonal yeni dizide bir sütun haline gelecektir. Satırlar yine satır halinde kalacak ancak tümüyle dolu dizinin herhangi bir sütundaki katsayılar Şekil 3.9 da gösterildiği gibi yeni dizide eğik bir çizgi halinde yerleşmiş olacaktır.

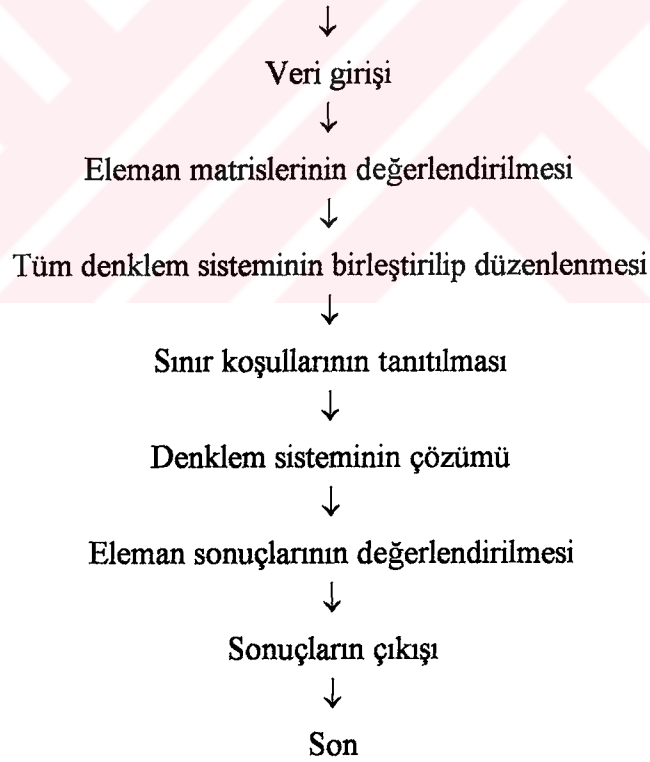
Tümüyle dolu matris organizasyonundaki katsayıların pozisyonunu belirlemek üzere uygun bir eşleştirme düzeni oluşturulursa, yeni depolama ve yerleşim organizasyonu kolayca gerçekleştirilebilir. Burada önemli nokta, başlangıçta (I,J) pozisyonunda yer alan bir katsayının yeni yerleşim düzeninde (I,J-I+1) pozisyonunda olacağıdır. Örneğin, (I,I) pozisyonundaki bir diagonal katsayısı yeni yerleşim düzeninde (I,1) pozisyonunda olacaktır.

Bu şekilde sistem matrisi, simetrik bantlı depolama şemasına göre, iki boyutlu dikdörtgensel bir dizide depolanacaktır. Sistem geometrisi, bağlantılar, çeşitli özellikler ve sınır koşullarının tümü tek boyutlu dizilerde depolanacaktır. Bütün dizilerin boyutlandırılması ana programda yapılacak, bu sırada alt programlarda değişken boyutlar kullanılacaktır. Böylece, dizi boyutlarının değiştirilmesi gerektiğinde, sadece ana programda değişiklik yapılır ve alt programlarda herhangi bir değişime gerek duyulmaz.



Şekil 3.9. Simetrik bantlı depolama

Program, daha önceki bölümde söz edildiği gibi, analiz basamaklarına göre alt parçalara bölünmüş ve işlemler Şekil 3.10 'daki akış şemasında verilen organizasyona göre düzenlenmiştir.



Şekil 3.10 program için genel akış şeması

Programda kullanılan bütün genel değişkenler, tanımları ile aşağıda verilmiştir :

MNN = düğümlerin muhtemel maksimum sayısı

MNE = elemanların muhtemel maksimum sayısı

MNB = yükleri belirli düğümlerin muhtemel maksimum sayısı

NN = düğümlerin gerçek sayısı

NE = elemanların gerçek sayısı

NLN = belirli tüketimlerin gerçek sayısı

NBN = yükleri belirli düğümlerin gerçek sayısı

NNE = eleman başına düğüm sayısı (bu durum için 2'ye eşit olan)

NDF = düğüm başına serbestlik derecelerinin sayısı (bu durum için 1'e eşit olan)

NDFEL = NDF*NNE ile verilen, eleman başına serbestlik dereceleri sayısı (Bu durumda 2'ye eşit olan)

NRMX = Tüm matrisi depolamak için kullanılan TK dizisinin satır boyutu

NCMX = TK dizisinin sütun boyutu

N = NDF*NN ile verilen, bilinmeyen adedi, bu aynı zamanda tüm matristeki satırların gerçek sayısına eşittir.

MS = Tüm rijitlik matrisinin gerçek yarı-bant genişliği

Kullanılan tek gerçek değişken

E = akışkanın özgül kütlesi ile yerçekimi ivmesi çarpımının viskoziteye bölünmesi ile elde edilen değeridir

Program, hem verileri hem de sonuçları depolamak için tamsayı ve reel sayılardan oluşan çeşitli dizileri kullanmaktadır. Çoğunlukla bu diziler tek boyutlu olduklarından, ana program dışında tüm programlar dizi boyutlarından bağımsız kılınmıştır.

KON = Eleman bağlayıcılarının tek boyutlu dizisi

KON (NNE*(L-1)+1) ; L elemanının ilk düğümü ,

KON (NNE*(L-1)+2) ; L elemanının ikinci düğümüdür

IB = Sınır koşulu verisinin tek boyutlu dizisi

IB(2*J-1) J. destekleyici düğümü için düğüm sayısını içerir

IB(2*J) bu programda daima sıfırdır

Kullanılan gerçek diziler şunlardır

X : x koordinatlarının tek boyutlu dizisi, X(J) ; J düğümünün x koordinatını içerir

Y : y koordinatının tek boyutlu dizisi, Y(J) ; J düğümünün y koordinatını içerir

PROP = Boru çapının tek boyutlu dizisi, PROP(L) ; L elemanına karşılık gelen çapı kapsar

AL = Düğüme ait tüketimlerin tek boyutlu dizisi, AL(J) ; J düğümünün tüketimini kapsar, tüketimi verilmeyen düğümler için sıfır olacaktır. Denklem sisteminin çözümünden sonra, düğüme ait yükleri depolamak için AL kullanılır. Yani çözümden sonra AL(J) ; J düğümüne karşılık gelen yükü kapsar

TK = Yukarıda anlatılan simetrik bantlı depolama şemasına göre saklanan toplam rijitlik matrisini içeren iki boyutlu dizi, NRMX : satır boyutu ve NCMX : sütun boyutudur

ELST = İşlem gören eleman için eleman matrisini depolayan iki boyutlu dizi, satır ve sütun boyutları NDFEL'e eşittir

V= Denklem sisteminin çözümünü yapan program tarafından kullanılan tek boyutlu yedek dizi Boyutu NCMX'e eşittir.

ELRE = Eleman debilerinin tek boyutlu dizisi, ELRE(L) ; L elemanına karşılık gelen debiyi içerir

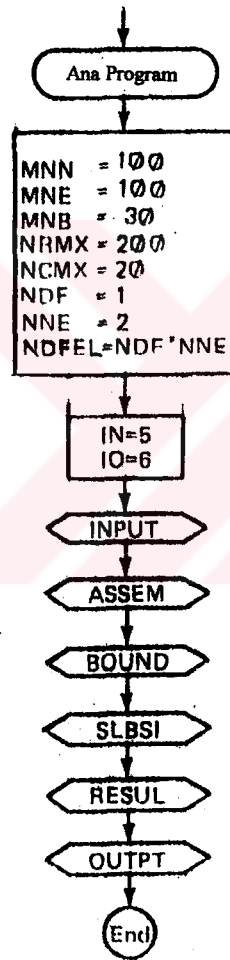
RENO = Başlangıçta, tarif edilen düğüm yüklerini içeren tek boyutlu dizi, RENO(J) ; J düğümü için tarif edilen yükü içerir. Yükleri tarif edilmeyen düğümler için sıfır değerlerini içerir.

Çözüm tamamlandıktan sonra RENO, herbir düğüme bağlı elemanların debileri arasında dengeyi oluşturulması ile hesaplanan, düğümlere ait debi değerlerini içerir. Tarif edilen besleme ya da tüketime sahip düğümler için, sonuç bu giriş ya da tüketime eşit olmalıdır, aksi takdirde RENO değeri sıfır olacaktır.

Alt programların bir kısmında bazı yedek diziler kullanılabilir. Bu dizilerin fonksiyonları, bu alt programların çalışma şekillerinin analizi sırasında anlaşılacaktır. Çoğunlukla bu tür bilgiler altprogram yorumları olarak verilmiştir.

Program 1 : Ana Program

Ana program temel program parametrelerine ilk değerlerini atar ve daha sonra herbiri önceden tanımlanan analiz safhaları ile ilgili işlemleri yerine getiren altı farklı alt programı çağırır. İşlemlerin sırası Şekil 3.11 'de gösterilen akış diyagramına uygun olarak , Ek-I 'de Pipe1 adlı FORTRAN kodunda, verilmiştir.



Şekil 3.11 Ana program akış diyagramı

Bu ana programda verilen ölçüler, maksimum 100 düğüm, 100 eleman ve 30 destek düğümünün kullanılmasına müsaade etmektedir. Buna uygun olarak, toplam rijitlik matrisindeki maksimum satır sayısını gösteren tamsayı değişken NRMX, 100 olarak verilmiştir (100 düğüm için toplam serbestlik veya bilinmeyenler derecesi sayısı). Maksimum yarı bant genişliği, NCMX, 20 'e eşittir. Tüm bu değerler mevcut bilgisayarın hafıza kapasitesine göre değiştirilebilir.

Program ayrıca, maksimum düğüm sayısı, MNN 'i 100, maksimum eleman sayısı, MNE 'i 100, yükleri belirli maksimum düğüm sayısı, MNB 'i 30, düğümlerin serbestlik derecesi, NDF 'i 1, eleman başına düğüm sayısı, NNE 'i 2 ve eleman başına serbestlik derecesi sayısı NDFEL 'i de, $NDF * NNE$ olarak alarak başlar. Girdi ve çıktı aygıtlarını belirleyen tamsayı değişkenler IN ve IO sırasıyla 5 ve 6 olarak verilmiştir. Bu sayıların mevcut bilgisayarın sahip olduğu özelliklere göre ayarlanması gerekmektedir.

Maksimum toplam düğüm sayısı, eleman sayısı ve önceden tanımlanmış yüklere sahip düğümlerin sayısının aşılmaması için ayrı bir kontrol yapılır.

Analiz adımları şu alt programlar çağrılarak uygulanmıştır:

INPUT : Veri girişi için

ASSEM : Eleman matrislerini hesaplamak ve toplam denklem sistemlerini birleştirmek için

BOUND : Sınır şartlarını tanımlamak için

SLBSI : Denklem sisemlerini çözmek için

RESUL : Eleman debilerini ve düğüm yüklerini hesaplamak için

OUTPT : Çıktı için

Özellikle alt program ASSEM 'in programın etkinliğini arttırmak üzere iki farklı analiz adımını ; eleman matrislerinin değerlendirilmesini ve toplam denklem sisteminin birleştirilmesini, gerçekleştirdiğine dikkat edilmelidir. Bu şekilde, her iki adımın ayrı ayrı yürütüldüğü durumlarda gerekli olan tüm eleman matrislerini depolayacak bir diziye duyulan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır.

Hata kontrolleri alt programlar ASSEM ve SLBSI çağrıldıktan sonra yapılır, böylece geri dönülmez hatalar ortaya çıktığında programın işleyişinin kontrollü olarak durması sağlanır. Bu işlem, MS değişkeninin değeri kontrol edilerek gerçekleştirilmektedir. Genellikle sistem matrisinin yarı-bant genişliğini içeren bu değişken, önemli hatalar ortaya çıktığında

sıfıra eşitlenerek ana programı durumdan haberdar ederek devreye girmesini sağlamaktadır.

Bu programın kapasitesini değiştirmek için, diğer alt programları değiştirmeden, sadece ana programdaki dizilerin boyutlarını ve bazı değişkenlerin başlangıç değerlerini değiştirmek yeterli olmaktadır. Bu nedenle, düğüm sayısını değiştirmek gerektiğinde, MNN değişkeni değiştirilmelidir. X, Y, AL ve TK dizilerinin boyutları bu sayıya eşit olmalıdır. Maksimum toplam eleman sayısında yapılacak bir değişim, MNE değişkeninin değerinin değiştirilmesini gerektirir. PROP ve ELRE dizilerinin boyutu bu sayıya eşit olmalıdır, KON dizisinin boyutu ise bu sayının iki katı olmak zorundadır. Belirlenen yüke sahip maksimum düğüm sayısını değiştirmek için MNB değişkeninin değerini değiştirmek gereklidir. IB dizisinin boyutu bu sayının iki katı olacaktır.

Bazı durumlarda daha büyük veya daha küçük yarı-bant genişliğine izin vermek için sistem matrisi TK'nın boyutlarını değiştirmek gereklidir. İlk boyut NRMX değişkenine, ikinci boyut da NCMX değişkenine atanmış değere eşit olmalıdır. Yardımcı dizi V'nin boyutu da bu sayıya uygun olmalıdır. Bu durumda, özellikle NRMX değişkeni MNN değişkeni ile aynı değere sahip olmak zorundadır, çünkü düğüm serbestlik dereceleri sayısı 1'e eşittir. Diğer tipteki problemler için bu değişkenler farklı değerlere sahip olabilirler.

Son olarak, TK ve ELRE dizilerinin denk olduğuna dikkat edilmelidir. Bu işlem, bellek tasarrufu sağlamak ve TK dizisinin sadece sistem denklemlerin çözümüne kadar ve ELRE dizisinin de sadece bu adımdan sonra kullanılmasından yararlanmak için yapılmıştır.

Program 2 : Veri girdisi (INPUT)

Boru ağının lineer analizi için programın gerektirdiği tüm girdi INPUT alt programı tarafından okunur. Veri girdisi şu satırlardan oluşur:

1) Temel parametreler satırı

Düğüm sayısı, eleman sayısı bilinen tüketim düğümleri sayısı, bilinen yük düğüm sayısı ve düğüm özellikleri, 4I10,F10.0 formatı ile

2) Düğümlerin koordinat satırı

Şebekedeki düğüm sayısı kadar satır ve her satır düğüm sayısını ve x ve y koordinatlarını içerir, I10,2F10.2 formatı ile

3) Eleman birleştirme ve çap satırları

Şebekedeki düğüm sayısı kadar satır. Her satır eleman sayısı ilk ve ikinci düğümlerin sayısını ve çapını içerir, 3I10, F10.5 formatı ile

4) Düğümün tüketim veya akış satırları

Bilinen düğümün debisi kadar satır. Her satır düğüm sayısını ve düğümün debisini içerir. I10, F12.4 formatı ile

Bu bölümün sonunda pratik bir uygulamada girdi verisi örneği verilmiştir. INPUT alt programı için FORTRAN kodunu görmek için Ek I' de Pipe1 'e bakınız.

Bu alt program sadece okuyarak kolayca anlaşılabilirdiğinden, detaylı bir açıklamaya gerek görülmemiştir. Kontrol amacı ile, okunan tüm veri yazdırılır. Çıktı formatları girdi formatları ile aynı değildir, ancak girdi verisini daha açık ve detaylı bir halde sunma olanağı sağlanmıştır.

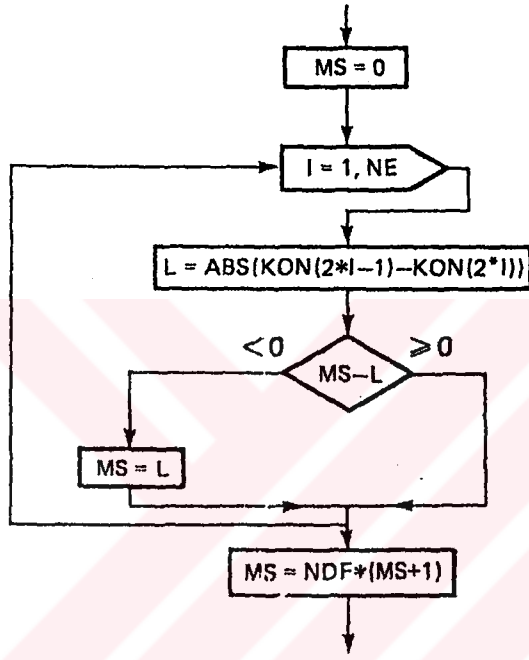
Düğümlere ait debiler okunmadan önce, sistemin toplam bilinmeyenlerinin sayısı (N) hesaplanır. Daha sonra, bazı bilgisayarlarda kullanılmamış hafıza pozisyonlarının sıfır kabul edilmesi mümkün olmadığından, AL vektörü sıfırlanır. Aksi halde, DO ortadan kalkabilir. Düğüme ait debiler okunur ve AL dizisine yerleştirilir. Böylece, düğüm debilerinin okunması tamamlandıktan sonra sistem denklemlerinin bağımsız katsayılarının oluşturduğu vektör de şekillenmiş olur.

Ayrıca, eleman bağlantılarına göre şebekenin yarı bant genişliğini hesaplayan BAND alt programı çağrılır.

Buradaki temel fikir, girdiyi basit tutarak analiz işleminin anlaşılmasını kolaylaştırmaktır. Pratikte uygulamalarda, sisteme pompalar, ek boru kutuları vs. gibi çeşitli ilavelerin olması mümkündür (Uygulama 3.5 ve 3.6 ya bkz)

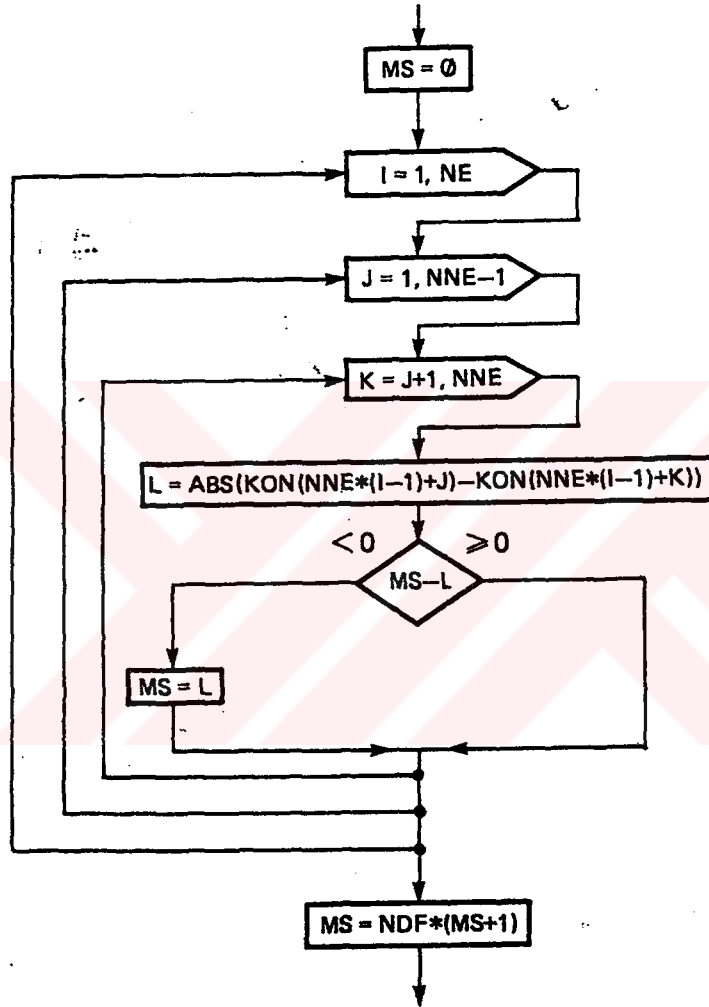
Program 3 : Yarı bant genişliğinin hesaplanması

Elemanların sadece iki düğümlle bağladığı şebeke problemlerinde yarı bant genişliğinin hesaplanması basittir. Bu hesaplama için, tüm elemanlar kontrol edilerek, elemanları bağlayan iki düğüm noktasının düğüm numaraları arasındaki maksimum fark kaydedilir, daha sonra bu sayıya 1 eklenip, düğümün serbestlik derecesi ile çarpılır. Bu işlemler, yarı bant genişliğinin MS de depolandığı, Şekil 3.12 'deki akış şemasına göre organize edilebilir.



Şekil 3.12. Bant genişliğinin hesaplanması

Ancak diğer uygulamalarda da görüldüğü gibi, bir elemanın ikiden fazla düğüm noktasına sahip olması ihtimali gözönüne alınır, yarı bant genişliğinin hesaplanması biraz daha karışık hal alır. Özellikle, her eleman için sadece iki düğüm arasındaki farkı gözönüne almak yerine, Şekil 3.13 'deki akış şemasında gösterildiği gibi, maksimum düğüm sayısı farkını bulmak için her düğümün diğer düğümlerle karşılaştırılması gerekir. BAND alt programının mümkün olduğunca geliştirilebilmesi için Ek I Pipel'deki FORTRAN kodunda görülebileceği gibi ikinci bir alternatif uyarlanabilir:



Şekil 3.13. Bant genişliğinin hesaplanması için alternatif yöntem

Program 4: Sistem matrisinin birleştirilmesi (ASSEM)

ASSEM alt programı toplam sistem matrisinin birleştirilmesini sağlayan ana programdır. Öncelikle TK dizisini sıfırlar ve sonra elemanlar üzerinde döngü kurarak, eleman matrisini hesaplamak için STIFF alt programını ve toplam sistem matrisinin depolandığı TK dizisine eklemek için ELASS alt programını çağırır.

ASSEM alt programı için FORTRAN kodu Ek I Pipe1' de verilmiştir.

Program 5 : Eleman matrisinin hesaplanması (STIFF)

Şebekedeki her eleman için eleman matrisi STIFF alt programı ile hesaplanır. Bu alt programın FORTRAN kodu Ek I Pipe1' de verilmiştir.

Bu alt program

$$K^i = \frac{\Pi \rho g D_i^4}{128 L_i \mu} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.38)$$

denkleminin kullanarak Poiseulle formülüne göre, aktif eleman, NEL, için eleman matrisini hesaplar. Bu alt programda E değişkenininin $\rho g / \mu$ terimini kapsadığına, eleman uzunluğunun hesaplanarak, D değişkeninde depolandığına ve eleman çapının PROP dizisindeki NEL konumunda olduğuna dikkat edilmelidir.

Bu alt program öncelikle NEL elemanı için, N1 ve N2 tamsayı değişkenlerini başlangıç ve bitiş düğüm sayılarına eşitler. Elemanın uzunluğu hesaplanarak D değişkenine atanır. Matris katsayısı hesaplanıp, COEF değişkeninde depolanır. Son olarak, eleman matrisinin katsayıları ELST dizisine yerleştirilir.

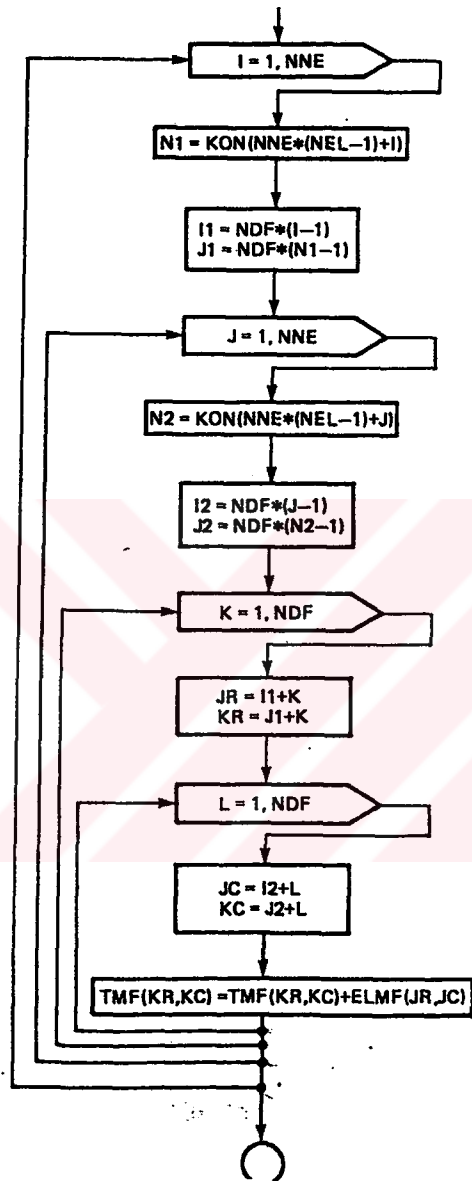
AL dizisi, burada kullanılmamasına rağmen, ileride bir eleman vektörüne gereksinim duyulduğunda yapılması gereken değişiklikleri kolaylaştırmak için argüman listesine dahil edilmiştir.

Program 6 : Sistem Matrisine Bir Eleman Matrisinin İlavesi (ELASS)

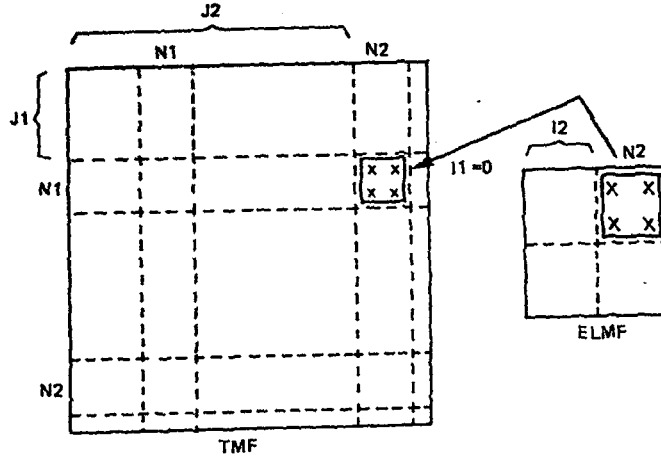
ELASS alt programı, aktif eleman NEL'in, ELMAT dizisinde depolanmış eleman matrisini alır ve bunu TM dizisindeki toplam matrise ekler. ELMAT ve TM dizilerinin ikisi de argüman listesinden geçer. Bu matrisler diğer tipte eleman ve sistem matrislerine tekabül edebilir. Mevcut şartlara ve ASSEM alt programındaki ELASS 'in çağırılma sırasına uygun olarak ELMAT dizisi ELST dizisine ve TM dizisi TK dizisine tekabül eder.

ELASS alt programı ile yapılacak işlemleri daha iyi açıklamak için, toplam matrisin, simetrik bantlı depolama programına değil de standart matris notasyonuna göre, TMF olarak adlandırılan tam kare bir matris içinde depolandığı varsayalım. Ayrıca, eleman matrisinin tamamen ELMF dizisinde depolandığı varsayalım. Bu durumda, NNE (muhtemelen 2 'den büyük) düğümlü bir eleman için gerekli işlemler, Bölüm 3.5 deki programa göre hazırlanmış olan Şekil 3.14 deki akış şemasında gösterilmiştir.

Bu işlem, ELMF 'ye ait düğüm alt matrislerinin, TMF 'de karşılık gelen. hiper-satır ve hiper-sütunlara uygun olarak eklenmesini gerektirir, bu da Şekil 3.15 'de iki düğümlü bir eleman için önerildiği gibi yapılır.



Şekil 3.14 Birleştirme için akış diyagramı



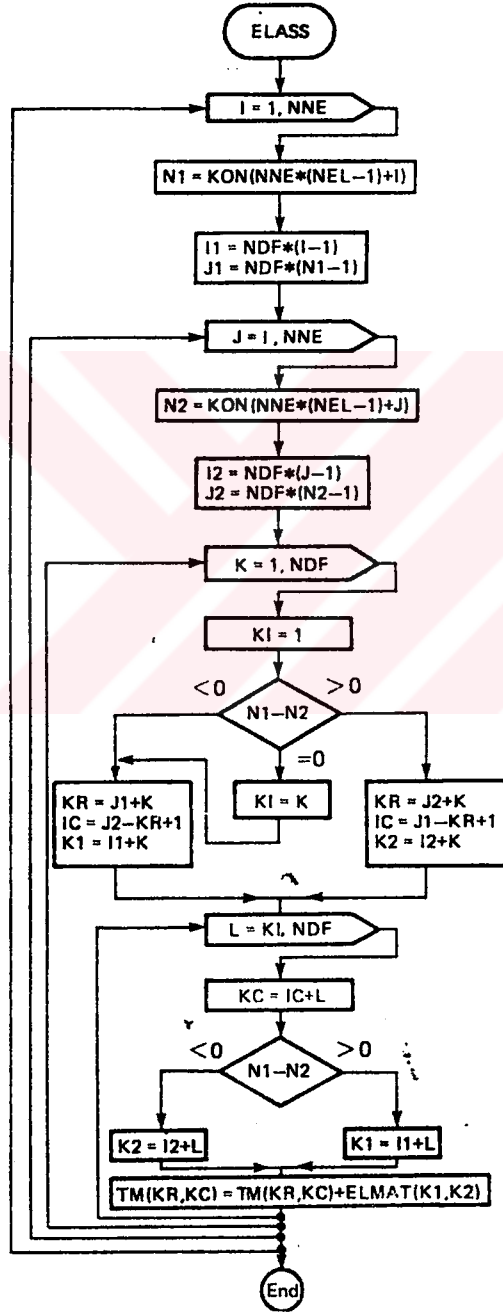
Şekil 3.15. Eleman katsayılarının birleştirilmesi

$N1$ ve $N2$ tamsayı değişkenleri farklı eleman düğümlerinin numaralarını içerir, ve her bir $N1 - N2$ kombinasyonu ELMF 'te bir düğüm alt matrisini tanımlar. $J1$ ve $J2$ tamsayı değişkenleri, sırasıyla, TMF dizisinde $N1$ ve $N2$ düğümlerine karşılık gelen düğüm alt matrisinin ilk katsayısından önceki satır ve sütun sayısıdır. $I1$ ve $I2$ tamsayı değişkenleri de bunlara benzerdir, ancak bunlar ELMF matrisi içindir. ELMF 'nin, JR ve JC satır ve sütun pozisyonlarındaki her bir katsayısı için, TMF de bunlara tekabül eden KR ve KC satır ve sütun pozisyonlarını hesaplamak, ve bu arada ELMF 'nin bütün katsayılarını TMF 'nin uygun pozisyonlarına eklemek mümkündür.

Ancak, daha önce izah edildiği gibi, toplam matrisin simetrik ve bantlı olma özelliğinden yararlanmak daha kullanışlıdır. Simetrik bantlı depolama düzeni kullanılarak, toplam matrisin yarı bant genişliğine kadar sadece üst üçgen kısmı TM dizisinde depolanır. Buna benzer şekilde, eleman matrisinin sadece üst üçgen kısmı ELMAT dizisinde depolanır. Bu yerleşimleri esas alan ve ELASS alt programı tarafından gerçekleştirilecek işlemler Şekil 3.16 'da verilen akış şemasına göre organize edilebilir.

Öncelikle J üzerindeki DO döngüsünün 1 yerine I ile başladığına dikkat edilmelidir. Bu, $N1$ ve $N2$ ile $N2$ ve $N1$ arasındaki birleştirmeyi gösteren diagonal dışı her iki alt matrisin gözönüne alınmaması içindir. Bu alt matrisler birbirlerinin transpozesidir. Diğer taraftan, TK 'ya sadece toplam rijitlik matrisinin üst üçgen kısmı kaydedildiğinden, bu alt matrislerden sadece birine ihtiyaç vardır. Özellikle $N1 < N2$ iken $K_{N1,N2}^{NEL}$ 'ye, $N1 > N2$ iken $K_{N1,N2}^{NEL}$ 'e gereksinim duyulur. Buna uygun olarak, TK 'ya bir katsayı eklemeyen önce, $N1$ ve $N2$ karşılaştırılır. $N1 < N2$ ise, $K_{N1,N2}^{NEL}$ 'in katsayıları, simetrik bantlı depolama

düzeni için satır ve sütun alt sayıları uygun biçimde hesaplanarak, direkt olarak TK 'ya eklenir. $N1=N2$ ise, TK 'da sadece $K_{N1,N2}^{NEL}$ 'in üst üçgen kısmı depolanır. Buna uygun olarak, L 'deki DO döngüsü $KI=1$ 'den ziyade $KI=K$ iken başlar. Son olarak $N1>N2$ iken, TK 'ya, $K_{N1,N2}^{NEL}$ 'nin transpozisini kaydetmek için karşılık gelen satır ve sütun alt sayıları birbirleri ile değiştirilir.

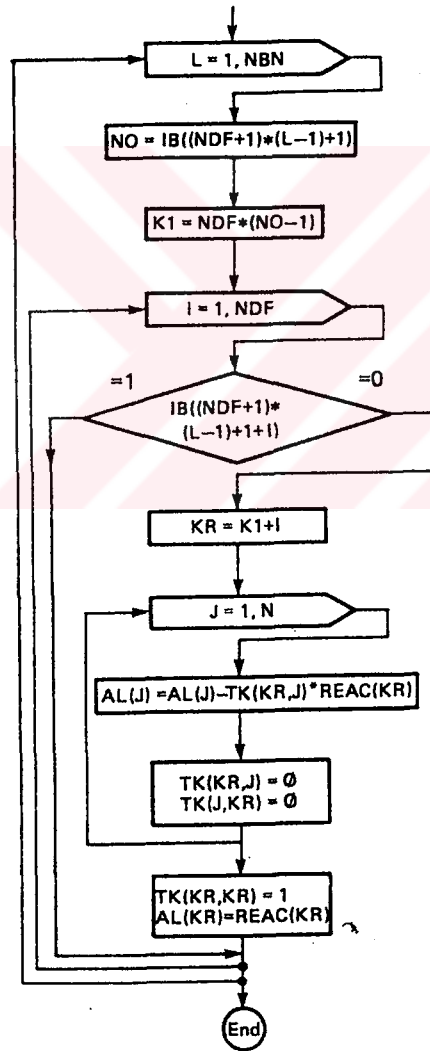


Şekil 3.16. Bantlı ve simetrik matrisin düzenlenmesi için akış şeması

Şekil 3.16 daki akış şemasına ait FORTRAN kodu Ek I - Pipe1 'de verilmiştir.

Program 7 : Sınır şartların sunumu (BOUND)

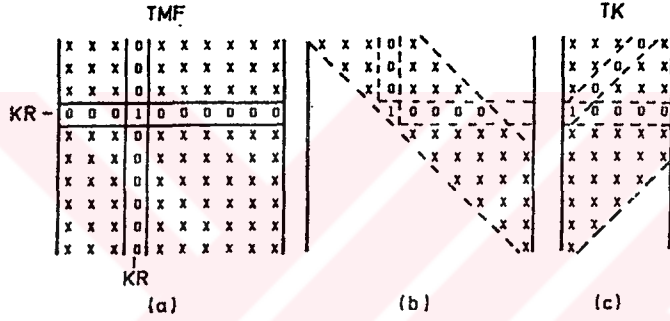
Problemin sınır şartları, bir önceki kısımda tartışılan düzene uygun olarak sunulur. Önce, olayın daha iyi anlaşılabilmesi için, toplam sistem matrisinin tamamıyla TMF kare dizisine yerleştirildiğini düşünelim. Buna tekabül eden işlemler Şekil 3.17 'de verilen akış şemasındaki gibi düzenlenebilir.



Şekil 3.17. Sınır şartlarının sunumu için akış şeması

İşlenen destek düğüm numarası NO tamsayı değişkeninde depolanır. K1 tamsayısı, NO düğümü için birinci satırdan önce, TK 'nın satırların sayısını ihtiva etmektedir. NO düğümünün I inci bileşeninin durumunu belirten gösterge sifira eşitse, AL vektörü daha önce tanımlanan bileşen dikkate alınarak değiştirilir ve TK 'nın karşılık gelen satır ve sütunları sıfırlanır. Daha sonra, diagonal katsayıları 1 'e eşitlenir ve daha önce tanımlanan bileşen $AL(K1+I)$ 'da depolanır.

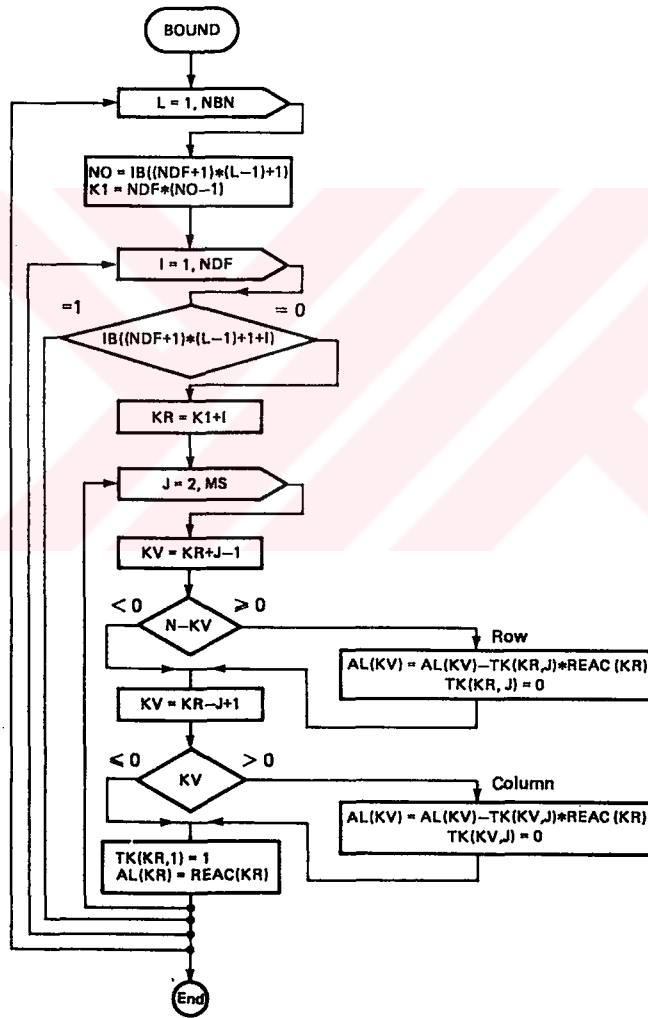
Tam matrisin depolanması durumunda, Şekil 3.18 'de gösterildiği gibi,



Şekil 3.18. Sınır şartları

karşılık gelen satır ve sütunların bütün katsayıları sıfırlanır ve sınır şartların tanımlanması basitleşir. Simetrik bantlı rijitlik matrisinin sadece üst üçgen kısmı depolanıyorsa, Şekil 3.18 (b) 'deki durum elde edilir, burada diagonalin üstündeki sütun parçası ile diagonalin sağında kalan satır parçasının sıfırlanması gerekir. Simetrik bantlı depolama düzeni kullanılıyorsa, sütun katsayıları Şekil 3.18 (c) 'de gösterildiği gibi diagonal olarak depolanır, uygulanmakta olan programdaki durum da böyledir. Daha sonra, satırı sıfırlarken, sütun alt sayısının toplam denklem sayısını aşmamasına dikkat edilmelidir, satır, matrisin son satırlarından biri ise böyle bir aşma sözü konusu olabilir. Benzer şekilde, sütunu sıfırlarken satır alt sayısının sıfır olmaması kontrol edilmelidir, böyle bir durum, sütunun, matrisin ilk sütunlarından biri olması durumunda oluşabilir. Bu düşünceleri gözönüne alarak, sınır şartlarının sunumu Şekil 3.19 'daki akış şemasına uygun olarak yürütülebilir.

Son akış şemasına göre programlanmış olan, BOUND alt programı için FORTRAN kodu Ek I - Pipel'de verilmiştir.



Şekil 3.19. Sınır şartlarının sunumu için akış şeması (bantlı ve simetrik matris)

Program 8 : Denklem sistemlerinin çözümü (SLBSI)

Denklem sisteminin çözümü, Gauss eliminasyon metodunu kullanan, simetrik bantlı sistemler için standart bir programla gerçekleştirilmiştir. Argüman olarak kullanılan değişkenler programın yorum satırlarında açıklanmıştır. Bu program için FORTRAN kodu Ek I - Pipe1' de verilmiştir.

Program 9 : Sonuçların değerlendirilmesi (RESUL)

Denklem sisteminin çözümü yapıldığında, düğüm yükleri artık bilinmektedir ve AL dizisinde depolanmışlardır. RESUL alt programı, eleman ve düğüm debilerini hesaplamak için bu yükleri kullanır. Bu programın FORTRAN kodu Ek I - Pipe1 'de verilmiştir.

Bu alt program tarafından yapılan ilk işlem, düğüm debilerin toplandığı RENO dizisini sıfırlamaktır. Daha sonra elemanlar üzerinde bir döngü kurulur ve her bir eleman için iki uç düğümün numaraları, N1 ve N2 bulunur, ve D eleman uzunluğu hesaplanır. Eleman debisi Poiseuille ifadesine göre bulunmaktadır ve ELRE dizisinin NEL pozisyonunda depolanır. Son olarak, aktif elemanların katkıları, uygun bir işaretle, RENO dizisinde, iki eleman düğümü N1 ve N2 'ye karşılık gelen yere yerleştirilir. Böylece tüm elemanlar işlendikten sonra, RENO dizisi şebekedeki her düğüm için nihai düğüm debilerini içerir.

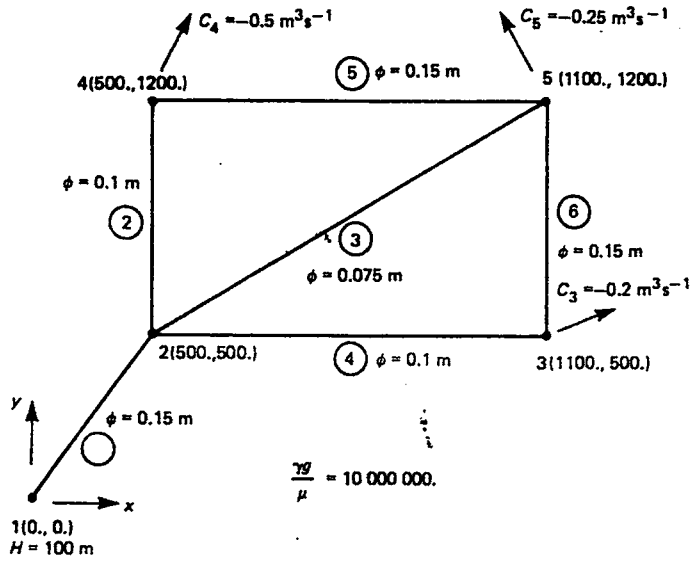
Program 10 : Sonuç çıktı (OUTPT)

Düğüm yükleri, düğüm debileri ve eleman debilerini yazan OUTPUT alt programının FORTRAN kodu Ek I - Pipe1 'de verilmiştir.

Lineer analiz için programın kullanılmasına ait bir örnek:

Programın boru şebekelerinin lineer analizinde kullanımına örnek olarak Şekil 3.20'de gösterilen basit şebeke analiz edilmiştir, burada ilgili tüm veriler gösterilmiştir.

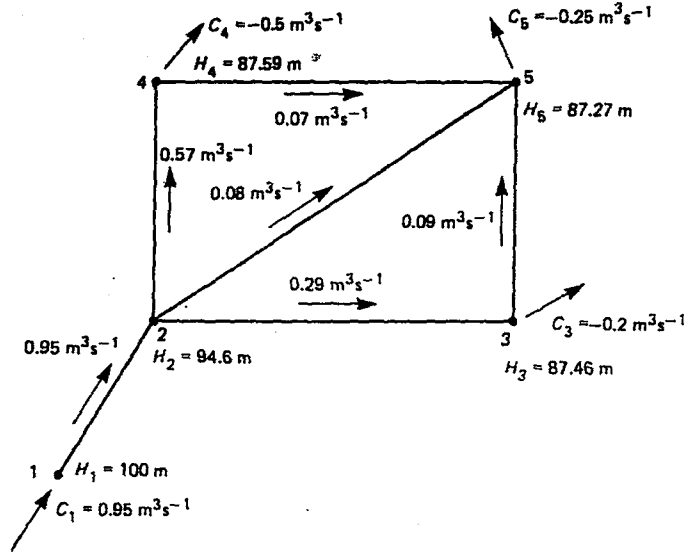
Programın girdisi şöyledir:



Şekil 3.20. Şebeke örneği (lineer durum)

| | | | | | |
|---|-------|-------|---|-------|----------|
| 5 | | 6 | 3 | 1 | 10000000 |
| 1 | 0. | 0. | | | |
| 2 | 500. | 500. | | | |
| 3 | 1100. | 500. | | | |
| 4 | 500. | 1200. | | | |
| 5 | 1100. | 1200. | | | |
| 1 | | 1 | 2 | 0.15 | |
| 2 | | 2 | 4 | 0.1 | |
| 3 | | 2 | 5 | 0.075 | |
| 4 | | 2 | 3 | 0.1 | |
| 5 | | 4 | 5 | 0.15 | |
| 6 | | 3 | 5 | 0.15 | |
| 3 | -0.2 | | | | |
| 4 | -0.5 | | | | |
| 5 | -0.25 | | | | |
| 1 | 100. | | | | |

Hem girdi bilgisi, hem sonuçlar çıktıda görülmektedir. Şekil 3.21 'de çıktıda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Şebeke çözümü (lineer durum)

VERİLER

DÜĞÜM SAYISI : 5
ELEMAN SAYISI : 6
DEBİLERİ BİLİNER DÜĞÜM SAYISI : 3
YÜKLERİ BİLİNER DÜĞÜM SAYISI : 1
YOĞUNLUK*YERÇEK. İVM/VİSKOZİTE : 10000000.00

DÜĞÜM KOORDİNATLARI

| DÜĞÜM | X | Y |
|-------|---------|--------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 500.00 | 500.00 |
| 3 | 1100.00 | 500.00 |
| 4 | 500.01 | 200.00 |
| 5 | 1100.01 | 200.00 |

ELEMAN BAĞLANTILARI VE ÇAPLARI

| ELEMAN | BAŞ. DÜĞÜM | SON DÜĞÜM | ÇAP |
|---------------|-------------------|------------------|------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.15000 |
| 2 | 2 | 4 | 0.10000 |
| 3 | 2 | 5 | 0.07500 |
| 4 | 2 | 3 | 0.10000 |
| 5 | 4 | 5 | 0.15000 |
| 6 | 3 | 5 | 0.15000 |

----- YARI-BANT GENİŞLİĞİ = 4 -----

DÜĞÜM DEBİLERİ

| DÜĞÜM | DEĞER |
|--------------|--------------|
| 3 | -0.2000 |
| 4 | -0.5000 |
| 5 | -0.2500 |

SINIR ŞARTLARI VERİLERİ

| DÜĞÜM | BELİRLİ DEĞER |
|--------------|----------------------|
| 3 | 100.0000 |

SONUÇLAR**DÜĞÜM YÜKLERİ**

| DÜĞÜM | YÜK |
|--------------|------------|
| 1 | 100.0000 |
| 2 | 94.5936 |
| 3 | 87.4591 |
| 4 | 87.5899 |
| 5 | 87.2374 |

DÜĞÜM DEBİLERİ

| DÜĞÜM | DEBİ |
|--------------|-------------|
| 1 | 0.9500 |
| 2 | -0.0000 |
| 3 | -0.2000 |
| 4 | -0.5000 |
| 5 | -0.2500 |

ELEMAN DEBİLERİ

| ELEMAN | DEBİ |
|---------------|-------------|
| 1 | 0.9500 |
| 2 | 0.5730 |
| 3 | 0.0852 |
| 4 | 0.2918 |
| 5 | 0.0730 |
| 6 | 0.0918 |

3.9. Non-Linear Analiz İçin Denklem Sisteminin Çözümü ve sonuçların Değerlendirilmesi

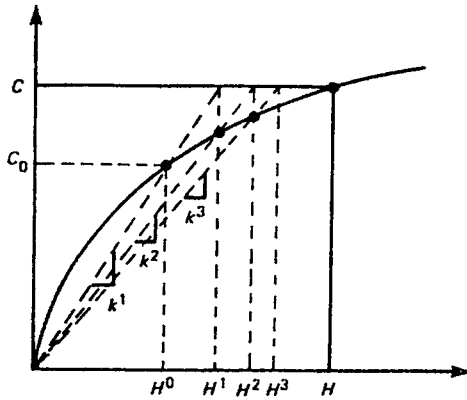
Hazen - Williams formülü kullanıldığında , bir boru şebekesinin işleyişini gösteren toplam denklem sistemleri

$$K(H) H = C \quad (3.39)$$

şeklinde verilir. K matrisi bilinmeyen düğüm yüklerine bağlı olduğu için bu, non-linear bir sistemdir.

Bu tip non-linear sistemleri çözmek için değişik yaklaşımlar kullanılabilir. Aşağıdaki adımlara göre basit bir çözüm düzeni oluşturulabilir:

- Düğüm yükleri için ilk değerler atanır.
- Düğüm yüklerinin mevcut değerlerine bağlı olarak K matrisinin katsayılarının hesaplanır ve denklem sisteminin oluşturulur.
- Düğüm yüklerinin yeni değerlerini elde etmek için denklem sisteminin çözülür.
- Önceki düğüm yük değerleri ile karşılaştırma yapılır. Farklı sonuçlar elde edilmişse (b) adımından itibaren işlemler tekrarlanır, aksi durumda programdan çıkılır .



Şekil 3.22. İteratif işlem

C debisi ve H yüküne sahip bir sistem için, bu tekniğin basit bir grafik gösterimi, Şekil 3.22 ' de verilmiştir. Yük için bir başlangıç değeri , H^0 , seçildikten sonra bu debi

seviyesi için yük ile debi arasındaki ilişkiyi sağlayan katsayının değeri hesaplanır, bu değer şekilde k^1 olarak gösterilmiştir. Bu katsayı hesaplandığında, bilinen C değeri için, şekilde H^1 olarak gösterilen yeni bir yük değerinin hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır. Genel olarak bu değer, bilinmeyen H 'ın çözümünden farklı olacaktır. Daha sonra, yeni katsayı k^2 'yi hesaplamak için, H^1 yaklaşık değeri kullanılır ve ardışık iki adımda elde edilen yük farkı, verilen tolerans değerinden düşük olana dek işlem tekrarlanır. İterasyon sayısına bir sınırlama getirilebilir.

Bu hesaplama yönteminin uygulaması aşağıdaki gibi yapılacaktır:

- a) Adım sayacı, i 'e ve yük vektörü H 'e ilk değerler atanır.
- b) H yükleri kullanılarak K^i hesaplanır.
- c) $K^i \bar{H} = C$ sisteminin çözümü yapılır.
- d) H ve \bar{H} yükleri karşılaştırılır. Fark toleranstan büyük ise (e) adımına , değil ise (f) adımına dönülür.
- e) Adım sayacı, 1 bir artırılır ve maksimum iterasyon sayısı kontrol edilir. Fazla ise uyarı yapılır ve (f) adımına geçilir. Aksi durumda

$$H = \bar{H} \quad (3.40)$$

yapılır ve (b) adımına dönülür.

- f) Eleman ve düğüm debileri hesaplanır , bunlar yazdırılır ve programdan çıkarılır. Normal olarak

$$\frac{\left[\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H}_i)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{i=1}^n |\bar{H}_i|} \leq \text{TOL} \quad (3.41)$$

iken yakınsama elde edilmiş farzedilir (TOL kabul edilen tolerans değeridir).

Yukarıda açıklanan düzenin uygulaması çok basit olmasına rağmen, pratikte yakınsaması biraz yavaş olabilir. Buna göre, Newton-Raphson metodu gibi daha iyi yakınsama işleyişine sahip bir metot uygulamak daha uygun olabilir.

Newton-Raphson, non-lineer denklemlerin köklerini bulmak ve diğer non-lineer problemleri çözmek için sıkça kullanılan bir tekniktir. Kısaca aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

x 'in fonksiyonu f için, $f(x)=0$ yapan x değerini arıyor olalım. Bu değer x_0 olarak tanımlansın, o halde ;

$$f(x_0) = 0 \quad (3.42)$$

dir. Eğer x 'in, x_k gibi yaklaşık bir değerine sahipsek aşağıdaki açılım yazılabilir:

$$f(x_0) \approx f(x_k) + \frac{\partial f(x_k)}{\partial x} \delta x = 0 \quad (3.43)$$

Böylece

$$\delta x_k = -\frac{f(x_k)}{\partial f(x_k)/\partial x} \quad (3.44)$$

dir ve bu yolla yeni değer yazılabileceği bir x artımı buluruz. Bu değer

$$x_{k+1} = x_k + \delta x_k \quad (3.45)$$

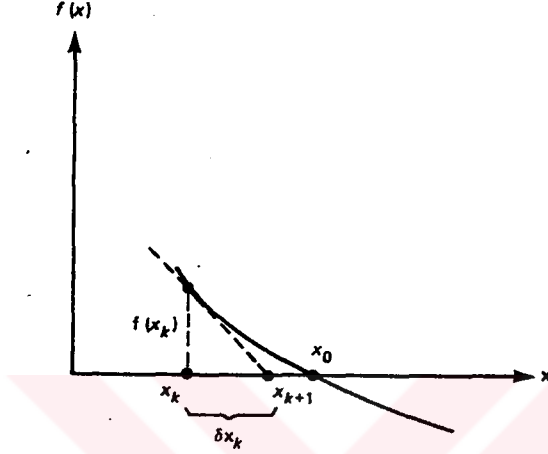
şeklinde yazılır ve Şekil 3.23 'de gösterilmiştir. Bu şekilde devam edilerek, istenen doğruluk derecesine sahip bir çözüm elde edilebilir.

Bu teknik, aşağıdaki şekilde bir matris sistemine uygulanabilir. Tüm elemanları şebekeye yerleştirdikten sonra H 'ın bir fonksiyonu olan bir K sistemi elde ettiğimizi varsayalım. Yani:

$$K(H) H = C \quad (3.46)$$

Bir sonraki iterasyonda F fonksiyonunu şöyle yazabiliriz:

$$F(H) = K(H_k) H - C = 0 \quad (3.47)$$



Şekil 3.23. $f(x) = 0$ 'ın köküne yaklaşma

Newton-Raphson metodu H' 'nin artışını , yani

$$\delta H_{k+1} \quad (3.48)$$

$K(H_k)$ matrisinin türevinin bir fonksiyonu olarak:

$$F' = \frac{\partial}{\partial H} [K(H) H - C] = \frac{\partial}{\partial H} [K(H) H] \quad (3.49)$$

verir. KH 'nin i . sütunundaki tüm elemanların H_i 'ye göre türevi alınarak, F' matrisi bulunabilir. Bu da yeni artım eleman matrisini verir. Bunun için

$$\begin{Bmatrix} \delta Q_j \\ \delta Q_k \end{Bmatrix} = \left(\frac{0.54k^i}{\Delta H^{0.46}} \right) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta H_j \\ \delta H_k \end{Bmatrix} \quad (3.50)$$

dır. Burada δ fonksiyondaki artışı gösterir. İfade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{Bmatrix} \delta Q_j \\ \delta Q_k \end{Bmatrix} = \bar{k}_t \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta H_j \\ \delta H_k \end{Bmatrix} \quad (3.51)$$

Yeni bir sistem elde etmek için bu matrisleri daha önceki gibi birleştirebiliriz.

$$K_t \delta H = \delta C \quad (3.52)$$

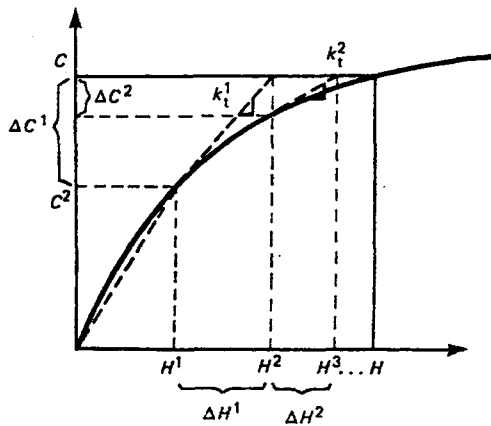
δC vektörü, dengenin mevcut olmaması sayesinde, yani dış etkiler ve daha önceki çözümle dengelenebilenler arasındaki farkın bulunmasıyla elde edilir. Yani ;

$$\delta C = C - K(H_k) H_k \quad (3.53)$$

Genel olarak, $\delta C \neq 0$ 'dır, ama birkaç iterasyondan sonra pratik olarak sıfır olacaktır. Newton-Raphson genellikle hızlı yakınsamayı sağlar.

Newton-Raphson tekniğinin temeli şematik olarak Şekil 3.24 'de gösterilmiştir. İlk adım, başlangıç çözümü $H^1 A$ 'i seçmektir. Bu çözüm kullanılarak bir tanjant katsayısı , k_t^1 , hesaplanır. Genelde bir yük seviyesi için C^1 debisi, gerçek debi C ' den farklıdır.

Dengesizlik



Şekil 3.24. Netwon-Raphson yöntemi

$$\Delta C^1 = C - C^1 \quad (3.54)$$

şeklinde verilmiştir. Bu dengesizliği düzeltmek için

$$k_t^1 \Delta H^1 = \Delta C^1 \quad (3.55)$$

sistemi çözülür ve yeni yük

$$H^2 = H^1 + \Delta H^1 \quad (3.56)$$

şeklinde bulunur. Yük için elde edilen bu yeni değer, K_t^2 tanjant katsayısını hesaplamak üzere tekrar kullanılabilir ve işlem yaklaşım elde edilinceye kadar tekrarlanabilir.

Bu metodun hesabının uygulaması aşağıdaki gibi olabilir :

- a) Başlangıç çözümü H^1 hesaplanır ve adım sayacı, i belirlenir.
- b) Debi dengesizliği ΔC^i hesaplanır.
- c) Tanjant matrisi k_t^i hesaplanır.
- d) Aşağıdaki denklem sistemi çözümlenir:

$$k_t^i \Delta H^i = \Delta C^i \quad (3.57)$$

- e) Gerçek toplam hesaplanır:

$$H^{i+1} = H^i + \Delta H^i \quad (3.58)$$

- f) Yaklaşım kontrol edilir. Yaklaşım elde edilmişse (h) adımına, aksi takdirde (g) adımına geçilir.
- g) Adım sayacı bir artırılır ve iterasyon limiti kontrol edilir. Aşılırsa uyarı yazılır ve (h) adımına geçilir. Aksi durumda (b) adımına dönülür.
- h) Eleman debisi ve düğüm debileri hesaplanır, bunlar yazdırılır ve hesaptan çıkarılır.

3.10. Boru Şebekelerinin Non-lineer Analizi İçin Program

Bu bölümün başında boru şebekelerinin lineer analizi için verilen program, Newton-Raphson tekniği kullanılarak, boru şebekelerinin non-lineer analizi ile ilgili programın geliştirilmesi için bir esas alınabilir. Bu teknik, bir dizi lineer analizi içerir. Bu işlem için temel yapı orjinal program ile verilmiştir. Burada yapılacak önemli değişiklik, lineer analiz üzerine iterasyon yapabilmek için gerekli düzeneğin oluşturulmasıdır. Ayrıca, Hazen-Williams formülüne göre eleman davranışlarının tanımlanması gerekecektir.

Bölüm 3.9 'da tanımlanan ana program, iteratif Newton Raphson prosedürünü uygulamak üzere önemli ölçüde değiştirilmiştir. İlave veri okumak ve Hazen-Williams formülünü dikkate almak, INPUT , STIFF ve RESULT alt programlarında küçük değişiklikler yapılmasını gerektirmiştir. Ayrıca, iki yeni alt program söz konusu olacaktır. Bunlardan INCOE, başlangıç çözümü için eleman katsayılarını hesaplar ve MULTI, simetrik bantlı olarak depolanmış matrisi bir vektörle çarpar ; debi dengesizliği ΔC^i 'yi hesaplamak için bu işleme ihtiyaç vardır. ASSEM , BOUND , SLBSI , BAND ve OUTPUT alt programları lineer analiz için verilenlerle aynıdır. Veri yapısındaki değişiklikler azdır ve aşağıda gösterildiği gibidir:

a) Tamsayı değişkenler: Bunların anlamları değişmemiştir. Sunulan yeni değişkenler şunlardır:

NMAX : Yaklaşımın elde edilmediği durumlarda, iterasyon işlemini bitirmeden önce yapılabilecek maksimum iterasyon sayısı

KODE : Ara çıktı göstergesi, sıfırdan farklı ise her iterasyon için sonuçlar yazdırılır. Aksi durumda sonuçlar ancak yaklaşım elde edilince yazdırılır.

b) Real değişkenler : E değişkeninin anlamı değiştirilmiş ve yeni bir değişken , TOL, tanımlanmıştır. Bunların gerçek anlamı şöyledir :

E = Borular için viskozite

TOL=Yaklaşım için kullanılan tolerans

c) Tamsayı diziler : Anlamları aynen kalmıştır .

d) Reel diziler : X , Y , PROP , AL , TK , ELST , V ve RENO dizileri değişmeden kullanılacaktır. ELRE dizisi eleman debilerini, ancak sadece yaklaşım sağlandıktan sonra depolar. Bundan önce, geçici olarak tüketim vektörünü depolamak için kullanılır.

Tanımlanan yeni diziler şunlardır:

H = Gerçek düğüm yüklerini depolamak için kullanılan dizidir. Her iterasyondan sonra düğüm yüklerindeki değişimler H dizisinde toplanır. J bileşimi için, H(J) düğüm yüklerini kapsar.

Q = Başlangıç tüketimleri ve tanımlanan yük değerlerinin etkisi de dahil, olmak üzere, toplam denklem sisteminin sağ tarafındaki vektörünü depolamak için dizidir. Bu etkiler, TK matrisi katsayılarında olduğu gibi, bir iterasyondan diğerine değişebilir.

Program 11 : Ana program

Ana programın işleyişi şekil 3.25 'deki akış şemasında özetlenmiştir. Daha önce olduğu gibi, ana program temel parametrelere değer atar, veriyi okumak için INPUT 'u çağırır ve maksimum düğüm, eleman sayıları ile ilgili limitleri kontrol eder; sınır düğümleri ve bant aşılmamalıdır. Analiz iki bölüme ayrılmıştır, bunlar; başlangıç çözümünün değerlendirilmesi ve yakınsama sağlamak için yapılan iterasyondur.

Düğüm tüketimleri INPUT alt programı tarafından okunarak AL dizisine konulur. Bu veriler ayrıca ana programda, analiz başlamadan önce, Q ve ELRE dizilerinde saklanır.

Başlangıç çözümünün değerlendirilmesi şu alt programların çağrılmasını kapsamaktadır : INCOE, her eleman için $\Delta H=1$ 'i varsayarak eleman katsayılarını hesaplamak için, ASSEM, denklemler sistemini birleştirmek için, BOUND, sınır şartlarını ortaya koymak için ve SLBSI, denklem sistemini çözmek için kullanılır. Başlangıç çözümü böylece gerçekleştirilir ve düğüm yükleri için ilk yakınsamalar AL dizisinde depolanır.

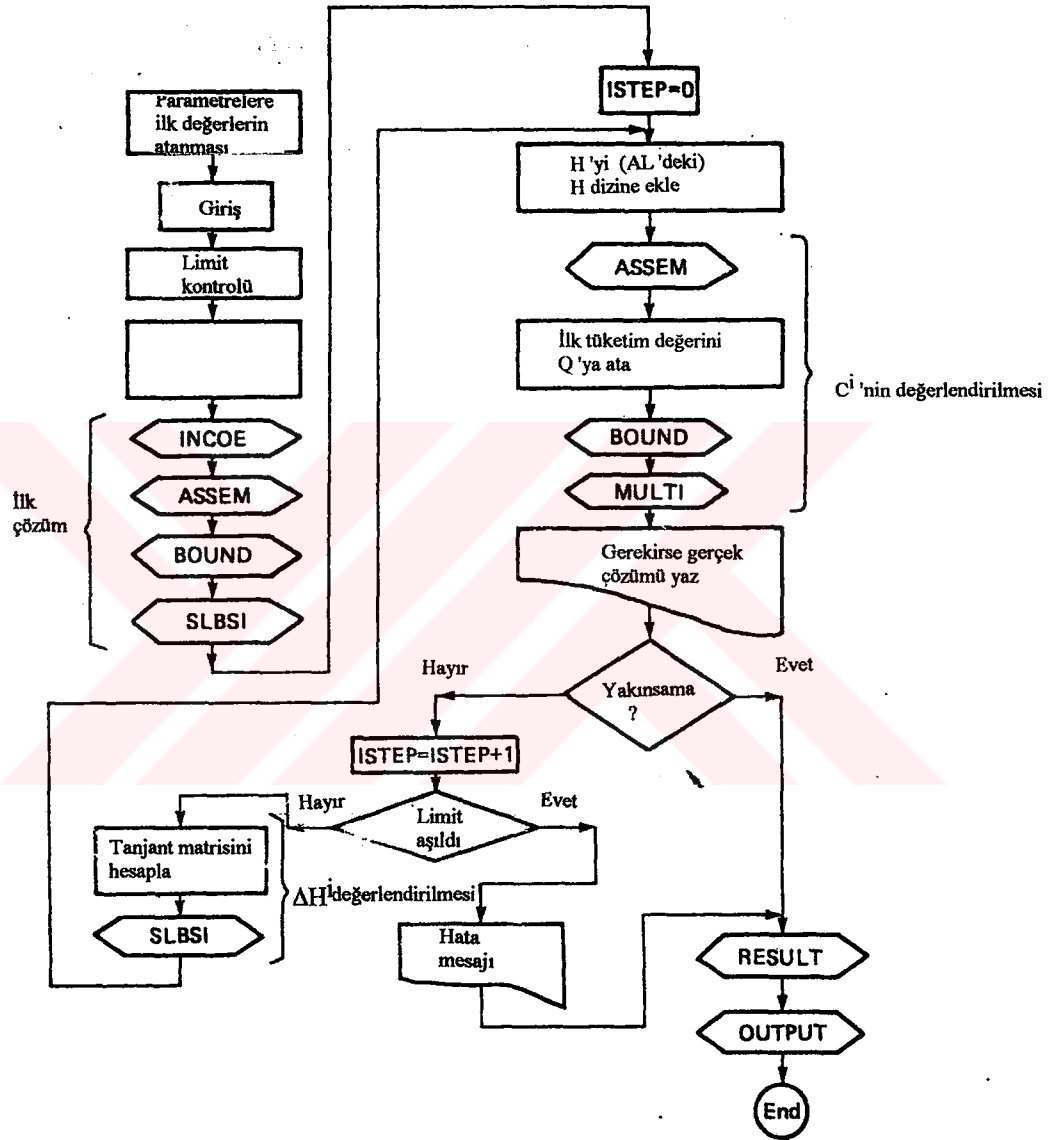
İterasyon işlemine başlamadan önce sayıcı ISTEP sıfırlanır. Sonra bir göz içinde program önceki çözümü H dizisine ekler, mevcut tüketim seviyesi C^i yi değerlendirir ve yaklaşımı kontrol eder. Yaklaşım elde edilmişse çıkılır veya aksi durumda yeni bir ΔH^i hesaplanır. AL 'deki başlangıç çözümü ilk başta sıfırlardan oluşan H dizisine eklenir. Böylece H, iterasyon işlemini, başlangıç çözümünü kapsayarak başlatır. Mevcut C^i tüketim seviyesini değerlendirmek için, öncelikle ASSEM alt programı çağrılarak gerçek sistem matrisini oluşturmak ve daha sonra da BOUND at programı çağrılarak sınır şartlarını göstermek gereklidir. Bundan önce, başlangıç tüketimi verileri, Q ve ELRE dizilerinde saklanır. BOUND işlendikten sonra Q dizisi, tanımlanan yüklerin etkisi de dahil olmak üzere sistem vektörünü içerecektir. TK sistem matrisinin düğüm yükleri ile çarpılması MULTI alt programı çağrılarak yapılır. Gerçek tüketim seviyesi C^i , AL dizisinde elde edilir.

Bir sonraki adım yakınsama kontrolüdür. Yakınsama elde edilmişse , Q ve AL dizilerindeki elemanlar aynı olmalıdır ve iterasyon işlemi yarıda kesilir. Pratikte bu işlem, elemanlar verilen TOL toleransına göre yeterince yakınken yapılır, aynı olmaları gerekmez. Kontrol, düğüm tüketimlerine (3.41) formülü uygulanarak yapılır.

Yakınsama elde edilmemişse, iterasyon limitinin aşılması şartı ile, yeni bir düğüm yük artışı, ΔH^i hesaplanmalıdır. Bunun için tanjant matrisi hesaplanır ve SLBSI çağrılarak (3.55) formundaki sistem çözülür. Tanjant matrisinin katsayıları, K matrisi katsayılarının 0.54 ile çarpımlarına eşittir.

Bu çarpımları yapmaktansa, AL dizisinin elemanlarını 0.54 'e bölünerek aynı işlem daha basit bir şekilde gerçekleştirebiliriz. Yakınsamadan sonra AL dizisinin, ΔC^i dengesizliğini içerdiğine dikkat edilmelidir. ΔH^i , SLBSI ile hesaplanıp AL dizisinde depolandıktan sonra yeni bir iterasyon başlatılır.

Yakınsama elde edilince, RESUL alt programı çağrılarak eleman debileri hesaplanır. Sonuçlar OUTPUT alt programı kullanılarak yazdırılır. Buna ait FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.



Şekil 3.25. Ana programın akış şeması (non-lineer analiz)

Program 12 : Veri Girdisi (INPUT)

INPUT alt programı temelde, lineer şebeke analizi programında kullanılan programla aynıdır. Tek değişiklik temel parametre girdilerinin okunmasındadır. Düğüm sayısına (NN) ilaveten, eleman sayısı (NE), verilen düğüm debisi adedi (NLN), verilen düğüm yükleri adedi (NBN) ve E değişkeni ile, maksimum tekrar sayısı (NMAX) ve tolerans (TOL) okunur. E artık rölatif pürüzlülüğü içerdiğinden, anlamı değişmiştir. Buna ait FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.

Program 13: Başlangıç Eleman Katsayısının Değerlendirilmesi (INCOE)

Bu yeni alt program (3.11) formülüne uygun olarak, eleman katsayısı k^i 'nin sabit kısmını hesaplamak için kullanılmaktadır. Bunlar ayrıca, başlangıç çözümünü elde etmek üzere eleman katsayıları olarak da kullanılmaktadırlar.

İşlemler eleman üzerindeki bir döngü ile yürütülür. Her eleman için, bağlantı dizisi KON 'dan iki uç düğüm değeri alınır ve N1 ve N2 'de depolanır, eleman uzunluğu hesaplanarak D'de depolanır ve k^i katsayısı değerlendirilir. Bu katsayı, daha önce eleman çapını içeren, PROP(NEL) 'de depolanır. Buna ait FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.

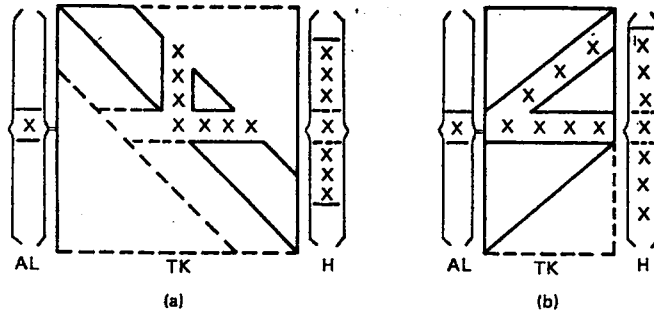
Program 14 : Eleman Matrisinin (STIFF) Hesaplanması

Program 5 'den tek farkı, COEF katsayısının Hazen-Williams formülüne göre hesaplanmasıdır. Bu da, başlangıç çözümü ve iterasyon için farklıdır. DH 'de depolanmış yük kaybı ΔH^i kontrol edilir. Sıfırsa, başlangıç çözümünün değerlendirildiğini gösterir. Bu durumda COEF, INCOE alt programı tarafından hesaplanan $\overline{k^i}$ katsayısını içeren PROP(NEL) 'e eşittir. Aksi durumda, iterasyonlar için COEF, (3.13) formülünde verildiği gibi, $\overline{k^i}$ nin $\Delta H^{0.46}$ 'a oranına eşittir. Bu alt program, sıfır uzunluk ve çap kontrollerini yapmaz, bunlar artık INCOE alt programı tarafından yapılmaktadır ve iterasyon döngüsü dışındadırlar. Buna ait FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.

Program 15 : Simetrik bantlı matrisin bir vektörle çarpılması(MULTI)

Bu program, AL dizisinde gerçek tüketimleri üretmek için, TK dizisinde depolanmış sistem matrisinin, H dizisinde depolanmış düğüm yükleriyle çarpılması işlemini gerçekleştirir.

Bu durumda tek problem, sistem matrisinin simetrik bantlı düzene göre depolanmış olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, diagonalin altındaki elemanlar kaydedilmez. TK 'nın bir satırının vektörle çarpılması, simetrik bantlı depolama düzeni için, Şekil 3.26 ' (a) da gösterildiği gibi veya bu programa uyarlanmış simetrik bantlı depolama düzeni için Şekil 3.26 (b) 'ye göre yapılır. I satırının çarpımı diagonal elemanı üzerindeki (DO 50) sütunlarla başlar, bunlar I satırının diagonalden önce varolmayan kısmını temsil ederler, ve I satırının diagonal elemanından (DO 100) sonraki kısmı ile devam eder. Her bir adımda, depolama sınırlarının aşılmaması için gerekli kontroller yapılmalıdır. Bu alt programa ait FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.



Şekil 3.26. Matrislerde çarpma

(a) simetrik, bant yok

(b) simetrik, bantlı

Program 16 : Sonuçların değerlendirilmesi (RESUL)

Bu alt program, lineer analiz için geliştirilen 9. alt programa oldukça benzemektedir.

Burada yapılan işlemler, yük tüketimlerine eleman tüketimlerinin eklenerek toplandığı RENO dizisinin sıfırlanması, ve elemanlar üzerindeki döngü yapılmasıdır. Her eleman için uç düğüm değerleri okunur ve uzunluk ile yük kaybı hesaplanır. NEL elemanı için, eleman debisi, Hazen-Williams formülüne göre hesaplanır ve ELRE(NEL) de saklanır.

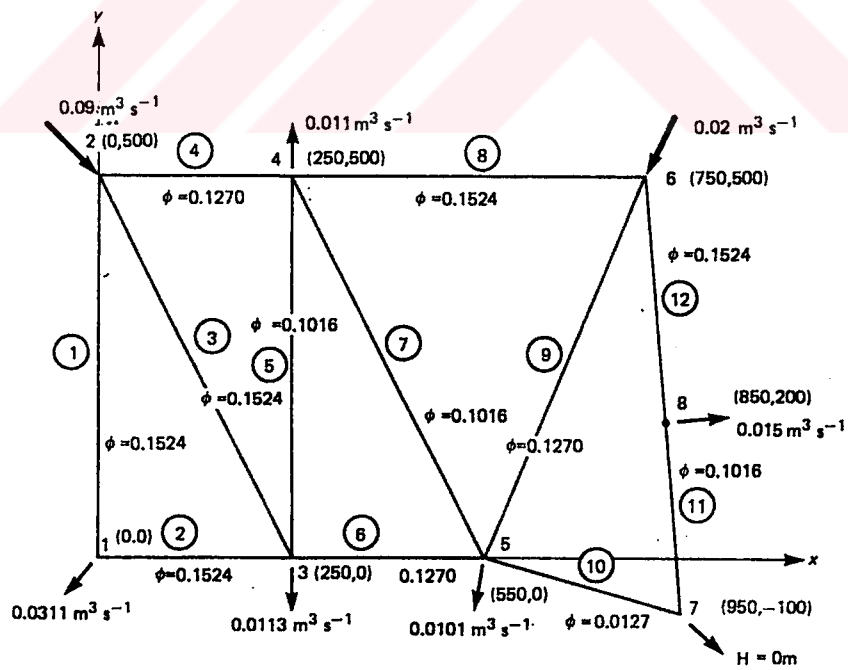
Bu alt programın FORTRAN kodu Ek II - Pipe2'de verilmiştir.

Boru şebekelerinin non-lineer analizini yapan bu programın işleyişini göstermek için, Şekil 3.27 'de verilen örnek analiz edilmiştir.

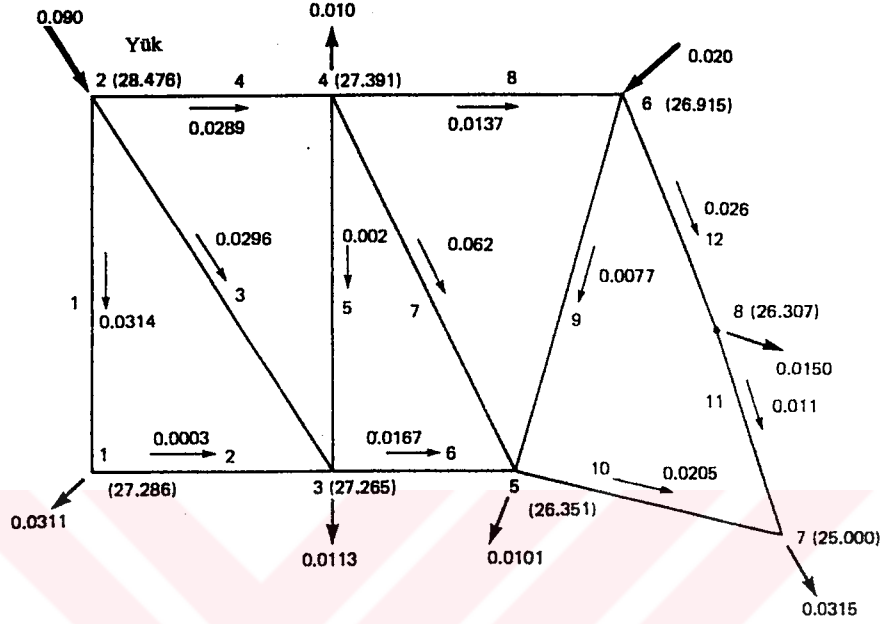
Bu örneğin girdi verileri şöyledir :

| | | | | | | | | | |
|---|------|----|---|-------|---|---|--------|--------|------|
| 8 | | 12 | | 7 | | 1 | 20 | 0.0001 | 110. |
| 1 | 0. | | | 0. | | | | | |
| 2 | 0. | | | 500. | | | | | |
| 3 | 250. | | | 0. | | | | | |
| 4 | 250. | | | 500. | | | | | |
| 5 | 550. | | | 0. | | | | | |
| 6 | 750. | | | 500. | | | | | |
| 7 | 950. | | | -100. | | | | | |
| 8 | 850. | | | 200. | | | | | |
| 1 | | 1 | | 2 | | | 0.1524 | | |
| 2 | | 1 | | 3 | | | 0.1524 | | |
| 3 | | 2 | | 3 | | | 0.1524 | | |
| 4 | | 2 | | 4 | | | 0.127 | | |
| 5 | | 3 | | 4 | | | 0.1016 | | |
| 6 | | 3 | | 5 | | | 0.127 | | |
| 7 | | 4 | | 5 | | | 0.1016 | | |
| 8 | | 4 | | 6 | | | 0.1524 | | |
| | 9 | | 5 | | 6 | | 0.127 | | |

| | | | |
|----|---------|---|--------|
| 10 | 5 | 7 | 0.127 |
| 11 | 7 | 8 | 0.1016 |
| 12 | 6 | 8 | 0.1524 |
| 1 | -0.0311 | | |
| 3 | 0.09 | | |
| 3 | -0.0113 | | |
| 4 | -0.011 | | |
| 5 | -0.0101 | | |
| 6 | 0.02 | | |
| 8 | -0.015 | | |
| 7 | 0.0 | | |
| 1 | | | |



Şekil 3.27. Şebeke örneği (non-lineer durum)



Şekil 3.28 Şebeke çözümü(non-lineer durum)

Elde edilen çıktı aşağıda verilmiştir :

VERİLER

| | | | |
|--------------------------------------|---|-------------|--|
| DÜĞÜM SAYISI | : | 8 | |
| ELEMAN SAYISI | : | 12 | |
| DEBİLERİ BİLİNEN DÜĞÜM SAYISI | : | 7 | |
| YÜKLERİ BİLİNEN DÜĞÜM SAYISI | : | 1 | |
| MAKSİMUM İTERASYON SAYISI | : | 20 | |
| TOLERANS | : | 0.0001000 | |
| RÖLATİF PÜRÜZLÜLÜK | : | 110.0000000 | |

DÜĞÜM KOORDİNATLARI

| DÜĞÜM | X | Y |
|--------------|----------|----------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 500.00 |
| 3 | 250.00 | 0.00 |
| 4 | 250.00 | 500.00 |
| 5 | 550.00 | 0.00 |
| 6 | 750.00 | 500.00 |
| 7 | 950.00 | -100.00 |
| 8 | 850.00 | 200.00 |

ELEMAN BAĞLANTILARI VE ÇAPLARI

| ELEMAN | BAŞ. DÜĞÜM | SON DÜĞÜM | ÇAP |
|---------------|-------------------|------------------|------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.15240 |
| 2 | 1 | 3 | 0.15240 |
| 3 | 2 | 3 | 0.15240 |
| 4 | 2 | 4 | 0.12700 |
| 5 | 3 | 4 | 0.10160 |
| 6 | 3 | 5 | 0.12700 |
| 7 | 4 | 5 | 0.10160 |
| 8 | 4 | 6 | 0.15240 |
| 9 | 5 | 6 | 0.12700 |
| 10 | 5 | 7 | 0.12700 |
| 11 | 7 | 8 | 0.10160 |
| 12 | 6 | 8 | 0.15240 |

----- **YARI-BANT GENİŞLİĞİ = 3** -----

DÜĞÜM DEBİLERİ

| DÜĞÜM | DEĞER |
|--------------|--------------|
| 1 | -0.0311 |
| 2 | 0.0900 |
| 3 | -0.0113 |
| 4 | -0.0110 |
| 5 | -0.0101 |
| 6 | 0.0200 |
| 8 | -0.0150 |

SINIR ŞARTLARI VERİLERİ

| DÜĞÜM | BELİRLİ DEĞER |
|--------------|----------------------|
| 7 | 0.0000 |

***** ITERASYON NO. 0 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 7.135602 | -0.031100 | -0.014892 |
| 2 | 11.269601 | 0.090000 | 0.046630 |
| 3 | 7.112920 | -0.011300 | -0.004993 |
| 4 | 7.025511 | -0.011000 | -0.001952 |
| 5 | 4.138389 | -0.010100 | -0.009599 |
| 6 | 5.540396 | 0.020000 | 0.012186 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 2.972596 | -0.015000 | -0.010140 |

***** ITERASYON NO. 1 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 16.157736 | -0.031100 | -0.028829 |
| 2 | 27.407265 | 0.090000 | 0.080082 |
| 3 | 16.165642 | -0.011300 | -0.008156 |
| 4 | 15.769382 | -0.011000 | -0.008217 |
| 5 | 10.471498 | -0.010100 | -0.010660 |
| 6 | 13.000090 | 0.020000 | 0.018601 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 7.534222 | -0.015000 | -0.014353 |

***** ITERASYON NO. 2 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.807871 | -0.031100 | -0.030227 |
| 2 | 32.597206 | 0.090000 | 0.089528 |
| 3 | 18.795029 | -0.011300 | -0.011910 |
| 4 | 18.226379 | -0.011000 | -0.010826 |
| 5 | 12.519736 | -0.010100 | -0.010153 |
| 6 | 15.223040 | 0.020000 | 0.019958 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.040369 | -0.015000 | -0.014996 |

***** ITERASYON NO. 3 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.901880 | -0.031100 | -0.031929 |
| 2 | 32.832912 | 0.090000 | 0.089999 |
| 3 | 18.904886 | -0.011300 | -0.010470 |
| 4 | 18.320322 | -0.011000 | -0.010999 |
| 5 | 12.611050 | -0.010100 | -0.010100 |
| 6 | 15.314146 | 0.020000 | 0.020000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.109765 | -0.015000 | -0.015000 |

***** ITERASYON NO. 4 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.911158 | -0.031100 | -0.030713 |
| 2 | 32.836639 | 0.090000 | 0.090000 |
| 3 | 18.904610 | -0.011300 | -0.011686 |
| 4 | 18.321049 | -0.011000 | -0.011000 |
| 5 | 12.611249 | -0.010100 | -0.010100 |
| 6 | 15.314624 | 0.020000 | 0.020000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.110153 | -0.015000 | -0.015000 |

***** ITERASYON NO. 5 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.904755 | -0.031100 | -0.031336 |
| 2 | 32.834141 | 0.090000 | 0.090000 |
| 3 | 18.904552 | -0.011300 | -0.011065 |
| 4 | 18.320351 | -0.011000 | -0.011000 |
| 5 | 12.610976 | -0.010100 | -0.010100 |
| 6 | 15.314151 | 0.020000 | 0.020000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.109784 | -0.015000 | -0.015000 |

***** ITERASYON NO. 6 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.906290 | -0.031100 | -0.031184 |
| 2 | 32.835152 | 0.090000 | 0.090000 |
| 3 | 18.905300 | -0.011300 | -0.011215 |
| 4 | 18.321047 | -0.011000 | -0.011000 |
| 5 | 12.611502 | -0.010100 | -0.010100 |
| 6 | 15.314709 | 0.020000 | 0.020000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.110219 | -0.015000 | -0.015000 |

***** ITERASYON NO. 7 *****

| DÜĞÜM | YÜK | TOPLAM VEKTÖR | HESAPLANAN VEKTÖR |
|--------------|------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 | 18.906328 | -0.031100 | -0.031109 |
| 2 | 32.834858 | 0.090000 | 0.090000 |
| 3 | 18.904755 | -0.011300 | -0.011291 |
| 4 | 18.320658 | -0.011000 | -0.011000 |
| 5 | 12.611160 | -0.010100 | -0.010100 |
| 6 | 15.314381 | 0.020000 | 0.020000 |
| 7 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 8 | 9.109965 | -0.015000 | -0.015000 |

7 İNCİ ADIMDA YAKINSAMA ELDE EDİLDİ

SONUÇLAR**DÜĞÜM YÜKLERİ**

| DÜĞÜM | YÜK |
|--------------|------------|
| 1 | 18.9063 |
| 2 | 32.8349 |
| 3 | 18.9048 |
| 4 | 18.3207 |
| 5 | 12.6112 |
| 6 | 15.3144 |
| 7 | 0.0000 |
| 8 | 9.1100 |

DÜĞÜM DEBİLERİ

| DÜĞÜM | DEBİ |
|--------------|-------------|
| 1 | -0.0311 |
| 2 | 0.0900 |
| 3 | -0.0113 |
| 4 | -0.0110 |
| 5 | -0.0101 |
| 6 | 0.0200 |
| 7 | -0.0315 |
| 8 | -0.0150 |

ELEMAN DEBİLERİ

| ELEMAN | DEBİ |
|---------------|-------------|
| 1 | -0.0314 |
| 2 | 0.0003 |
| 3 | 0.0296 |
| 4 | 0.0289 |
| 5 | 0.0020 |
| 6 | 0.0167 |
| 7 | 0.0062 |
| 8 | 0.0137 |
| 9 | -0.0077 |
| 10 | 0.0205 |
| 11 | -0.0110 |
| 12 | 0.0260 |

IV BÖLÜM

SU DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN OPTİMİZASYONU

4.1. LİNEER PROGRAMLAMA İLE BORU ŞEBEKELERİNİN OPTİMUM TASARIMI

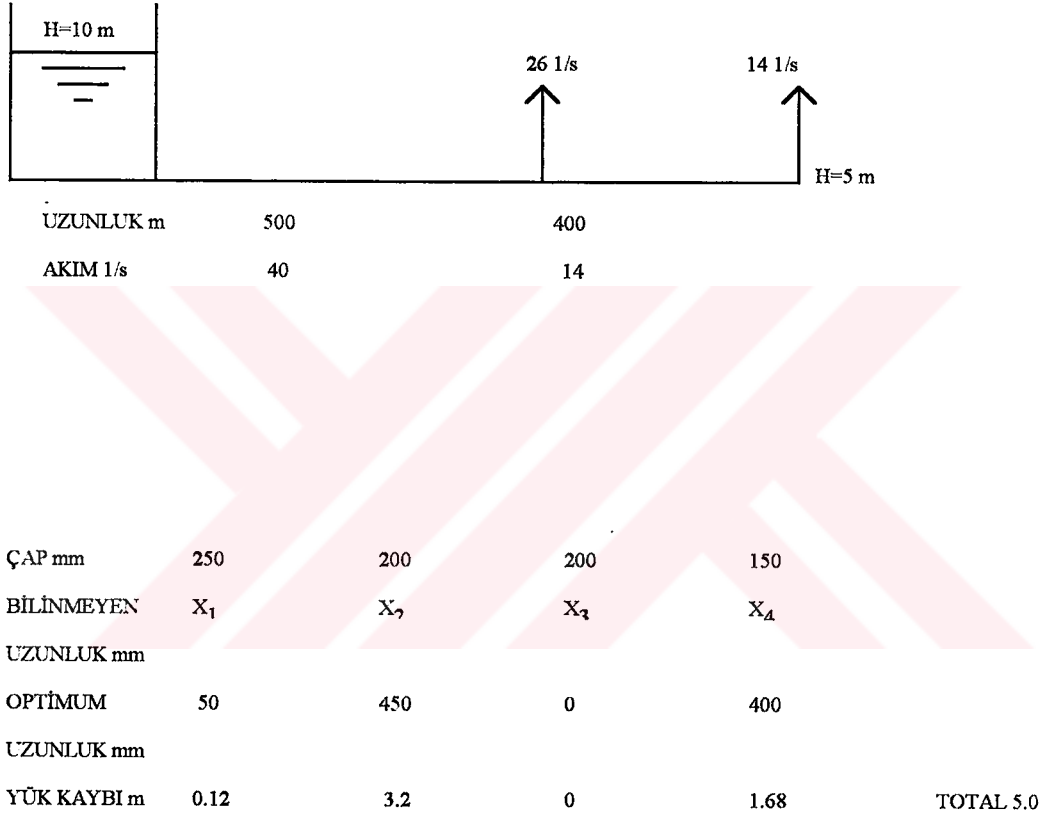
Daha önceki bölümlerde boru çaplarının, uzunluklarının ve yerleşim düzeninin bilindiği varsayılmış ve buna göre akımlar ve yükler hesaplanmıştı. Boru şebekelerinin tasarımı sadece deneme ile yapılabilir ve tasarım problemleri analiz problemlerine oranla daha zordur. Burada, boru şebekelerinin direkt tasarımı için çeşitli metotlar verilmiştir. Herbir durumda da en önemli kriter tasarımın uygulamada ekonomik olması gerekliliğidir.

Lineer programlama güçlü bir optimizasyon tekniğidir, ancak sadece değişkenler arasındaki bağıntının lineer olması halinde kullanılabilir. Lineer programlama kapalı gözlü şebekelerin tasarımının optimizasyonunda kullanılamaz, bunun için tek çıkar yol ardışık yakınsamalar yapmaktır. Lineer programlama, ana iletim hatlarının ve herbir daldaki akımın bilindiği ağaç-tipi şebekelerin tasarımında kullanılabilir. Akım, yük kaybı, çap ve maliyet arasındaki bağıntılar nonlineer olduğundan, sistemi lineer hale getirmek için aşağıdaki teknik kullanılır: Her dal veya ana boru için, daha önceden seçilmiş bir dizi çap değerinin kullanımına izin verilir ve farklı çaptaki herbir borunun uzunluğu değişken olarak ele alınır. Yük kayıpları ve maliyetler, kendilerine karşılık gelen boru uzunlukları ile lineer olarak orantılıdır. Analiz için farklı tipte lineer yaklaşımlar da kullanılabilir. Şebekenin belirli noktalardaki basınç değerinin, belli bir minimumun üzerinde olmasının (büyük-veya-eşit lineer eşitsizliği) veya belli bir aralık içinde olmasının sağlanması gerekebilir. Belli bir çaptaki borunun toplam uzunluğunun bazen belli bir sınırı aşmaması istenebilir, çünkü yetersiz boruların mevcut olması gibi sebepler sözkonusu olabilir.

4.1.1. ANA İLETİM HATTI ÇAPLARI İÇİN SIMPLEX METODU

Aşağıdaki örnek iki akım çekme noktası olan bir ana iletim hattı ile ilgilidir. İlk branş için olası çaplar 250 ve 200 mm, ve ikinci branş için de 200 ve 150 mm dir. Bu nedenle farklı çaplarda boru uzunlukları olarak dört değişken vardır; X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 .

Bu basit örnek, doğru yük kaybı değerlerini veren bütün alternatiflerin maliyetlerinin elle karşılaştırılması ile optimize edilebilir, ancak burada tekniği gösterebilmek için lineer programlama kullanılacaktır.



Şekil 4.1. Lineer programlama ile minimum-maliyetli ana iletim hattı

Borunun 100 mm 'si başına yük kayıpları ve farklı borular için m başına maliyetler aşağıda verilmiştir:

Tablo 4.1. Boru çapları ve Maliyetleri

| ap mm | Yük kaybı @ 40 l/s m/100 m | @ 14 l/s m/100m | Maliyet \$100/100 m |
|-----------|-------------------------------|--------------------|------------------------|
| 250 | 0.25 | | 5 |
| 200 | 0.71 | 0.1 | 4 |
| 150 | | 0.42 | 3 |

Sisteme ait lineer yaklaşımlar aşağıda denklem formunda verilmiştir ve denklemlerin katsayıları bir çizelge halinde Tablo 4.3.(1) 'de gösterilmiştir. Birim uzunluk 100 m 'dir.

Tablo 4.2. Yaklaşım Denklemleri

| | |
|-----------------|--|
| Uzunluklar | $X_1 + X_2 = 5$ |
| | $X_3 + X_4 = 4$ |
| Yük Kaybı | $0.25 X_1 + 0.71 X_2 + 0.1 X_3 + 0.42 X_4 = 5$ |
| Amaç Fonksiyonu | $5 X_1 + 4 X_2 + 4 X_3 + 3 X_4 = \text{min.}$ |

Hesaplamalar bütün gerçek değişkenlere sıfır değerinin atanması ile devam eder, bu nedenle eşitliğin sağlanması için herbir denkleme 'slack' adı verilen boş yapay değişkenlerin eklenmesi gerekir. Slack değişkenler Tablo 4.3.(1) 'de a, b ve c ile gösterilmiştir, ve maliyet katsayıları, çok yüksek değerler alan m ile verilmiştir. Çözümü başlatmak için a, b ve c slack değişkenlerine sırasıyla 5, 4 ve 5 değerleri atanmıştır (Tablo 4.3.(1) 'in üçüncü sütununa bakınız).

Tablonun ana yapısında herhangi bir satırdaki sayılar, sütun değişkeninin bir birimi ile yer değiştirecek olan program değişkeninin miktarını gösterir. Bu nedenle, X_1 'in bir birimi a 'nın 1 biriminin ve c 'nin 0.25 biriminin yerini alacaktır.

Programda bir değişkeni bir başkasıyla yer değiştirmenin yararlı olup olmayacağını belirlemek üzere, herbir sütun için olasılık değeri (opportunity number) olarak bilinen bir sayı hesaplanır. Eğer sisteme X_1 'in bir birimi eklendiyse maliyet $(5 - (1 \times m) - (0 + m) - (0.25 + m))$ oranında artacaktır, bu da olasılık değerini göstermektedir, yani her sütun için olasılık değeri o sütundaki sayıların, ikinci sütunda bunlara karşılık gelen program değişkeninin maliyet katsayıları ile çarpılması ve bu şekilde oluşan toplamın sütun değişkeninin maliyet katsayısından çıkartılması ile hesaplanır. Birim başına en yüksek maliyet indirimini (veya negatif olasılık değeri) gösterdiği için sisteme eklenecek en karlı değişken X_2 olacaktır. X_2 sütunu anahtar sütun olarak adlandırılır. Anahtar sütun en düşük olasılık değerini (maliyet minimizasyonu için) gösteren sütundur. Sisteme bir kerede sadece bir değişken eklenebilir.

Eklenebilecek anahtar sütun değişkeninin maksimum değerini belirlemek üzere her satır için yer değiştirme oranları aşağıda belirtildiği gibi hesaplanır:

Her satır için program değişkeninin değeri anahtar sütunda kendisine karşılık gelen sayıya bölünür. Sisteme herhangi bir kısıtı ihlal etmeden eklenebilecek maksimum miktar olarak en düşük pozitif yer değiştirme oranı seçilir. En düşük pozitif yer değiştirme oranlı satıra anahtar satır adı verilir, anahtar sütun ve anahtar satırın keşiştiği noktadaki sayı, anahtar sayı olarak adlandırılır.

Yeni değişkenler ortaya çıktıktan sonra matris yeniden düzenlenir.(Tablo 4.3) Bununla beraber yerine konulan oranlar sabit kalır. Anahtar dizisi içindeki program değişkenleri ve kayıp katsayılarının yerine yeni değişken ve kayıp katsayıları konur.

Tablo 4.3. Boru probleminin lineer programlama ile çözümü

| I | | Değişken Mal. kats. | | | | | | | | |
|---------------|-------------|------------------------|---------|----------------|--------|----------------|---------|---|---|----------------|
| Prog. Değ. | Fiyat Kats. | Mik. | X1 | X2 | X3 | X4 | a | b | c | Yer değ. oranı |
| a | m | 5 | 1 | 1 | | | 1 | | | 5/1* |
| b | m | 4 | | | 1 | 1 | | 1 | | * |
| c | m | 5 | 0.25 | 0.71 | 0.10 | 0.42 | | | 1 | 5/71 |
| OLASILIK | | | | | | | | | | |
| DEĞERİ: | | | 5-1.25m | <u>4-1.71m</u> | 4-1.1m | 3-1.42m | 0 | 0 | 0 | *anahtar satır |
| ANAHTAR SÜTUN | | | | | | | | | | |
| II. | | | X1 | X2 | X3 | X4 | a | b | c | |
| | | | 5 | 4 | 4 | 3 | m | m | m | |
| X2 | 4 | 5 | 1 | 1 | | | 1 | | | * |
| b | m | 4 | | | 1 | 1 | | 1 | | 4 |
| c | m | 1.45 | -0.46 | | 0.1 | 0.42 | -0.71 | | 1 | 3.45* |
| | | | 1+0.46m | 0 | 4-1.1m | <u>3-1.42m</u> | 1.71m-4 | 0 | 0 | |

| III. | | X1 | X2 | X3 | X4 | a | b | c |
|----------------------------------|---|------------|------|------|--------------|-------|-------------|------------|
| | | 5 | 4 | 4 | 3 | m | m | m |
| X2 | 4 | 5 | 1 | 1 | | 1 | | 5 |
| b | m | 0.55 | 1.1 | | 0.76 | 1.69 | | -2.38 0.5* |
| X4 | 3 | 3.45 | -1.1 | | 0.24 1 | -1.69 | | 2.38 - |
| | | $1.1-1.1m$ | 0 | | $3.28-0.76m$ | 0 | $1.1-0.69m$ | 3.38 -8.2 |
| IV. | | X1 | X2 | X3 | X4 | a | b | c |
| | | 5 | 4 | 4 | 3 | m | m | m |
| X2 | 4 | 4.5 | | 1 | -0.69 | 1 | | 2.16 |
| X1 | 5 | 0.5 | 1 | | 0.69 | 152 | | -2.16 |
| X4 | 3 | 4 | | | 1 1 | | | |
| | | 0 | 0 | 0.31 | 0 | m- | m- | m- |
| DAHA FAZLA İLERLEME MÜMKÜN DEĞİL | | | | | | | | |

Yeni bir değişken eklendikten sonra, yer değiştirme oranlarının doğru kalabilmesi için matris tekrar düzenlenir (Tablo 4.3.(2)). Anahtar satırdaki program değişkeni ve maliyet katsayısının yerini yeni değişken ve maliyet katsayısı alır. Miktar sütunu ve tablonun genel yapısı aşağıda belirtildiği şekilde tekrar düzenlenir:

Anahtar satırdaki her sayı anahtar sayıya bölünür.

Anahtar-satır olmayan bir satırdaki her sayıdan, anahtar sütunda bu sayıya karşılık gelen sayı ve anahtar sütundaki eski satır sayısının anahtar sayıya oranı ile elde edilen değerlerin çarpımını çıkartılır. Yeni tablo Tablo 4.3.(2) 'de verilmiştir.

Olasılık değerlerinin ve yer değiştirme oranlarının incelenmesi ve tablonun düzenlenmesi işlemi negatif olasılık değeri kalmayınca kadar tekrarlanır. Örnek için, Tablo 4.3.(4) minimum-maliyet çözümü (o anki program değişkenleri ve değerleri ile gösterilen) elde edildiği sırada mevcut bütün pozitif olasılık değerlerini gösterir.

Lineer programlama tekniği için Dantzig (1963) tarafından detaylı bilgi verilmiştir. Lineer programlama konusunda aşağıda sadece birkaçının belirtildiği daha birçok durumla karşılaşmak mümkündür:

- (1) Eğer yaklaşımlar \leq (küçük-veya-eşit) tipinde eşitsizliklerse, eşitlik haline getirmek için yaklaşımın sol tarafına sıfır maliyet katsayılı slack değişkenler ilave edilir. Yüksek maliyet katsayılı yapay slack değişkenleri iptal edilir.
- (2) Eğer yaklaşımlar \geq (büyük-veya-eşit) tipinde eşitsizliklerse, eşitlik haline getirmek için yaklaşımın sol tarafına yüksek maliyet katsayılı yapay slack değişkenler ilave edilir ve sıfır maliyet katsayılı slack değişkenler herbir eşitsizlikten çıkartılır.
- (3) Eğer amaç fonksiyonunu minimize edilecekse, en yüksek negatif olasılık katsayısı, eğer amaç fonksiyonunu maksimize edilecekse, en yüksek pozitif olasılık katsayısı seçilir. Bütün değişkenlerin pozitif varsayıldıklarına dikkat edilmelidir.
- (4) Olasılık değerleri bunlara karşılık gelen değişkenlerin gölge (shadow) değerleridir, yani programa bir değişkenin bir biriminin eklenmesi için gereken değeri ifade ederler.
- (5) Eğer iki yer değiştirme oranı eşitse, hangi satır seçildiyse, diğer satırdaki program değişkeninin miktarı matris tekrar düzenlendiğinde sıfır olacaktır. Sadece çok küçük bir değere sahip olduğunu varsayarak işlemlere daha önceki gibi devam edilmesi gerekir.

4.1.2. ŞEBEKE TASARIMI

Çoğu şebeke tasarım sırasında akımları bilinen ağaç-tipi şebeke olarak daha basit bir şekilde modellenebilir. Aslında ekonomik olarak düşünülen şebekelerin çoğu ağaç-tipi şebekedir ve gözler destekleme amacı ile konmuştur. Ağaç-tipi boru branşları piyasada mevcut çaplar ile maliyetlerin ve akımın bir fonksiyonu olarak eklenen, metre veya kilometre başına yük kayıplarının birimlerine göre yapılabilirler. Çap aralığının sınırları tecrübeye dayanarak seçilebilir.

4.1.3. GÖZLÜ ŞEBEKELER - LP OPTİMİZASYONU

Sisteme birden fazla yerde borular ekleyerek boru gözleri yaratıldığında problem nonlineer olduğundan lineer programlama metotları ile direkt olarak çözülmesi mümkün değildir. Bunun sebebi de büyük oranda akımların bilinmiyor oluşuna dayanmaktadır. Bununla birlikte, eğer şebeke, ağaç-tipi şebekesine indirgenebilirse problem de basitleşmiş olur. Minimum-maliyet şebekesi aslında ağaç-tipine benzeyen ve değişken olmayan bir şebekedir, problem ağacın tanımlanmasıdır. Boru iletim ağının ekonomi ölçeği açısından, en ekonomik yerleşim düzeni herhangi bir noktayı besleyebilen tek bir borudur. Bu yaklaşım kabul edildiği takdirde, en iyi (minimum-maliyet) ağaç-tipi şebekesi lineer programlama kullanılarak aşağıda bahsedildiği şekilde yaklaşık olarak elde edilebilir.

Gözlü şebeke ile başlandığında herbir j ve i düğüm noktası numaralandırılır ve keyfi pozitif akım yönleri tanımlanır, daha sonra herbir i borusu için, aşağıdaki (lineer) yaklaşımlar bilinmeyen Q cinsinden oluşturulur:

Her j düğüm noktasındaki akım dengesi için,

$$\sum Q_i \text{ (j düğümüne giren) } = q_j \text{ (j düğümünden çıkan)}$$

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Minimizasyon } \sum Q_i L_i$$

burada L_i , i borusunun bilinen uzunluğudur.

Bu işlem iletimin büyük bir kısmını minimize edecektir (litre/saniye*metre). Ancak ekonomi ölçeği henüz belirtilmediği için, elde edilen değerler, nonlinear akım oranı-maliyet bağıntıları için optimum değerler olmayacaktır. Herbir borunun maliyeti Q^m ($m > 1$) ile orantılıdır, böylece daha kesin ancak nonlinear amaç fonksiyonu $\text{Min } \sum L_i Q_i^m$ olur. Bu tip problemlerin optimizasyonu için farklı programlama metotları (Hadley, 1964) kullanılabilir, ancak genellikle buradaki yaklaşım ve mühendislik muhakemesi yeterli olacaktır. Daha önce yapılan çalışmalarda, Bhave (1978) burada önerilene benzer bir şebekenin elde edilmesi için hesaplamaların elle yapıldığı bir metot sunmuş, Powell ve Barnes (1982) alternatif bir hiyerarşik metot önermişlerdir.

4.1.4. LİNEER PROGRAM

Ekteki program şebekelerin yerleşim düzeninin ve boru çaplarının optimizasyonu için oldukça uygundur. Program amaç fonksiyonunu minimize eder ve simplex metodu için gereken bütün boş (dummy) değişkenleri ve yapay değişkenleri sağlar.

Programa ek olarak verilen örnekte şebeke dallı bir sisteme indirgenmiş ve daha sonra boru çapları seçilmiştir. Daha sonra her bölüm için girdiler ve optimum çözüm, yani optimum program değişkenleri, büyüklükleri ve fiyatları verilmiştir.

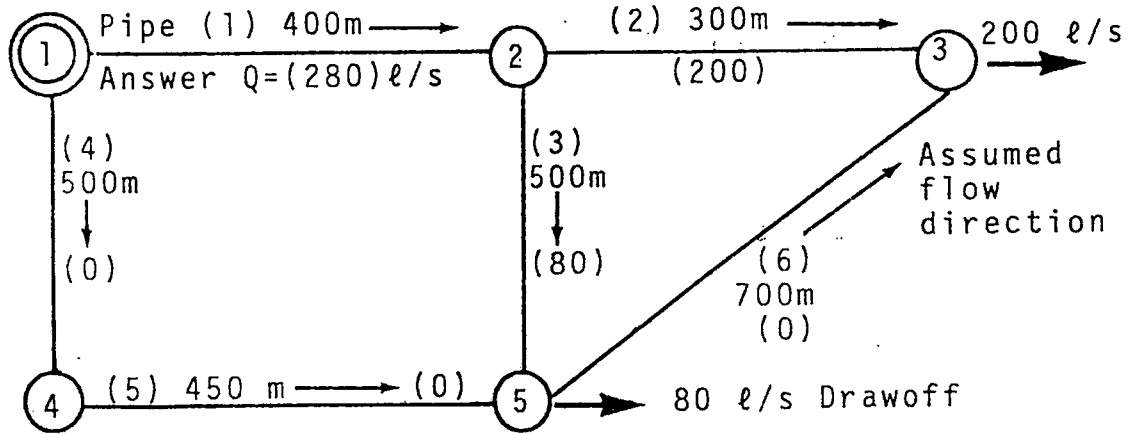
Minimizasyonla doğrusal programlama optimizasyonu programında kullanılan semboller

| | |
|------|-------------------------------------|
| A(I) | Programda değişkenin amaç katsayısı |
| B(I) | Programda değişkenin amaç katsayısı |
| B2 | Net maliyet |
| E(J) | $B - \sum X / A$ |

| | |
|---------|---|
| E2 | Min E |
| I | Satır no. |
| I2 | Anahtar I |
| J | Sütun no. |
| J2 | Anahtar J |
| N | Toplam değişken + boş değişkenler (dummy) no. |
| N1 | Değişken no. |
| M | Toplam sütun |
| M1 | Yaklaşım sayısı |
| M2 | Yaklaşım sayısı |
| M3 | Yaklaşım sayısı |
| R(I) | Yer değiştirme oranı |
| R2 | Min. yer değiştirme oranı |
| V(I) | Programda değişken no. |
| X(J,I) | Matris katsayısı |
| X1(J,I) | Matris katsayısı |
| Z(I) | Programdaki değişkenin büyüklüğü |
| Z1(I) | Programdaki değişkenin büyüklüğü |

Giriş sayılarının 0.001 ve 1000 arasında olmasına dikkat edilmelidir.

Örnek : Şebekenin planı



Sınırlar :

- düğüm 2 : $Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0$
- düğüm 4 : $Q_4 - Q_5 = 0$
- düğüm 3 : $Q_2 + Q_6 = 200$
- düğüm 5 : $Q_3 + Q_5 - Q_6 = 80$

Minimize $\sum QL = 400Q_1 + 300Q_2 + 500Q_3 + 500Q_4 + 450Q_5 + 700Q_6$

NAMEP? NETLAYOUT

SONUCLARI YAZICIDAN ALMAK ICIN '1' ; EKRANDAN ALMAK ICIN '2'TUSUNA BASINIZ ; 1
NO.VARBL,NO.CONSTRAINT <=,=>=? 6,0,4,0

INPUT COEFS IN CONSTRAINTS IN ORDER <=,=>=

COEFS IN CONSTRAINT 1

X 1 ? 1
X 2 ? -1
X 3 ? -1
X 4 ? 0
X 5 ? 0
X 6 ? 0

COEFS IN CONSTRAINT 2

X 1 ? 0
X 2 ? 0
X 3 ? 0
X 4 ? 1
X 5 ? -1
X 6 ? 0

COEFS IN CONSTRAINT 3

X 1 ? 0
X 2 ? 1
X 3 ? 0
X 4 ? 0
X 5 ? 0
X 6 ? 1

COEFS IN CONSTRAINT 4

X 1 ? 0
X 2 ? 0
X 3 ? 1
X 4 ? 0
X 5 ? 1
X 6 ? -1

RHS 1 ? 0

RHS 2 ? 0

RHS 3 ? 200

RHS 4 ? 80

OBJ FN COEFS FOR MINIM,1- 6

OBJ.COEF.X 1 ? 400

OBJ.COEF.X 2 ? 300

OBJ.COEF.X 3 ? 500

OBJ.COEF.X 4 ? 500

OBJ.COEF.X 5 ? 450

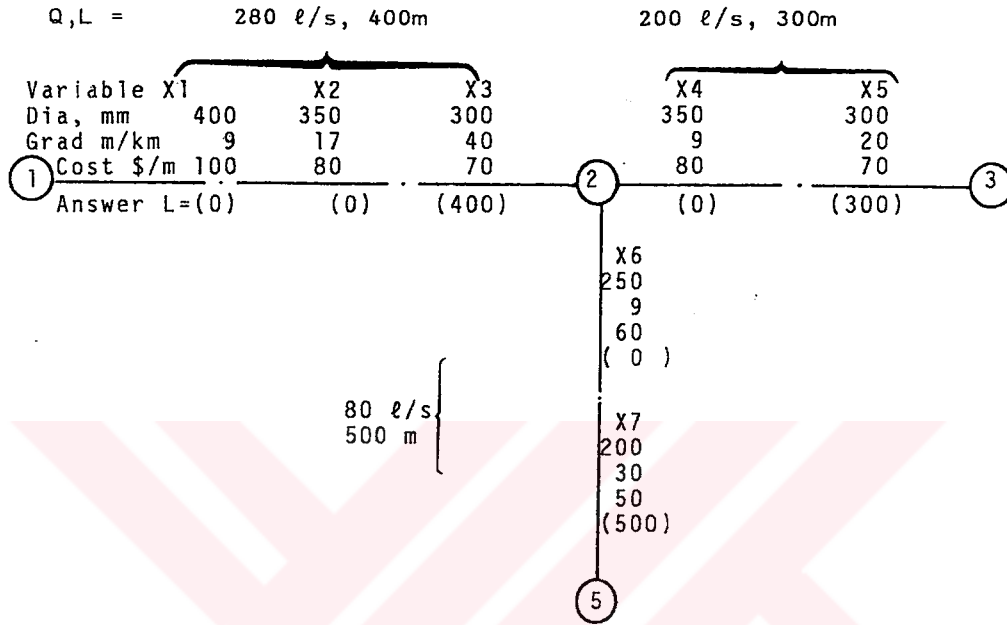
OBJ.COEF.X 6 ? 700

LP OPTIMZN NETLAYOUT

| VARIABLE | MAGNITUDE | COST COEF |
|----------|---------------|-----------|
| 1 | 279.9999 | 400 |
| 2 | 200 | 300 |
| 5 | 1.7999999E-05 | 450 |
| 3 | 79.99995 | 500 |

COST= 212000

Örnek 2 : Boru Boyutlandırma



Sınırlar : Yük kayıpları 3 : $.009X1 + .017X2 + .04X3 + .009X4 + .02X5 \leq 50$

5 : $.009X1 + .017X2 + .04X3 + .009X6 + .03X7 \leq 70$

Uzunluklar X1-X3 : $X1 + X2 + X3 = 400$

X4-X5 : $X4 + X5 = 300$

X6-X7 : $X6 + X7 = 500$

NAMEP? PIPE DIAS

SONUCLARI YAZICIDAN ALMAK ICIN '1' ; EKRANDAN ALMAK ICIN '2'TUSUNA BASINIZ ; 2
NO.VARBLS,NO.CONSTRAINT <=,=,>=? 7,2,3,0

INPUT COEFS IN CONSTRAINTS IN ORDER <=,=,>=

COEFS IN CONSTRAINT 1

X 1 ? .009
X 2 ? .017
X 3 ? .04
X 4 ? .009
X 5 ? .02
X 6 ? 0
X 7 ? 0

COEFS IN CONSTRAINT 2

X 1 ? .009
X 2 ? .017
X 3 ? .04
X 4 ? 0
X 5 ? 0
X 6 ? .009
X 7 ? .03

COEFS IN CONSTRAINT 3

X 1 ? 1
X 2 ? 1
X 3 ? 1
X 4 ? 0
X 5 ? 0
X 6 ? 0
X 7 ? 0

COEFS IN CONSTRAINT 4

X 1 ? 0
X 2 ? 0
X 3 ? 0
X 4 ? 1
X 5 ? 1
X 6 ? 0
X 7 ? 0

COEFS IN CONSTRAINT 5

X 1 ? 0
X 2 ? 0
X 3 ? 0
X 4 ? 0
X 5 ? 0
X 6 ? 1
X 7 ? 1

RHS 1 ? 50

RHS 2 ? 70

RHS 3 ? 400

RHS 4 ? 300

RHS 5 ? 500

OBJ FN COEFS FOR MINIM,1- 7

OBJ.COEF.X 1 ? 100

OBJ.COEF.X 2 ? 80

OBJ.COEF.X 3 ? 70

OBJ.COEF.X 4 ? 80

OBJ.COEF.X 5 ? 70

OBJ.COEF.X 6 ? 60

OBJ.COEF.X 7 ? 50

LP OPTIMZN PIPE DIAS

| VARIABLE | MAGNITUDE | COST COEF |
|----------|-----------|-----------|
|----------|-----------|-----------|

| | | |
|---|----------|----|
| 8 | 27.99996 | 0 |
| 9 | 38.99997 | 0 |
| 3 | 399.9999 | 70 |
| 5 | 299.9999 | 70 |
| 7 | 499.9999 | 50 |

COST= 73999.98

NAMEP?

4.2.GÖZLÜ ŞEBEKELER İÇİN DİNAMİK VE NONLİNEER PROGRAMLAMA

Daha önceki bölümlerde kapalı gözleri olan ve olmayan boru şebekelerindeki akımların hesaplanması için tanımlanan çeşitli metotlar incelenmişti. Herhangi bir boru şebekesi planı ve farklı boru çapları için, çeşitli düğüm noktalarındaki sabit akım tüketimi veya girişi değerleri göz önüne alınarak şebekedeki akımların hesaplanması mümkündür. Belli akım tüketimi miktarlarını karşılayabilecek yeni bir şebeke tasarlamak için, birçok olasılığın ele alınarak karşılaştırılması gerekecektir. Önerilen bir şebeke planı analiz edilecek ve bu düzene göre elde edilecek akımların talepleri karşılayabilmesi ve aynı zamanda basınçların da istenen düzeylerde olması durumunda öngörülen plan kabul edilecektir. Aksi takdirde, uygun bir çözüm bulana kadar, boru çapları için farklı alternatiflerin denenmesi ve akımların analiz edilmesi gerekecektir. Bu deneme-yanılma işlemi daha sonra alternatif şebeke planları için tekrarlanacaktır. Sonuç olarak, elde edilen şebekelerin herbirinin maliyeti hesaplanacak ve minimum maliyetli plan seçilecektir.

Minimum maliyetli şebekenin deneme-yanılma metotlarına başvurmadan, direkt olarak belirlenmesi elbetteki tercih edilecek bir yöntemdir. Kapalı gözlü şebekelerin genel optimizasyonu için direkt veya kati sonuç verecek bir metot yoktur. Bunun nedeni de, boru çapları, akımlar, yük kayıpları ve maliyet arasındaki bağıntının nonlineer olması, buna karşın yaygın olarak kullanılan çoğu matematiksel optimizasyon tekniklerinin lineer bağıntılara dayalı olmasıdır. Matematiksel optimizasyon tekniklerinin şebeke planlarının optimize edilmesinde kullanılabileceği bazı durumlar aşağıda ele alınacaktır. Bu durumlar genelde herbir daldaki akımın bilindiği dal-sistemli veya ağaç-tipi şebekeler için geçerlidir. Kapalı gözleri içeren bir şebekeyi optimize etmek için rasgele arama teknikleri veya ardışık yakınsama teknikleri gereklidir.

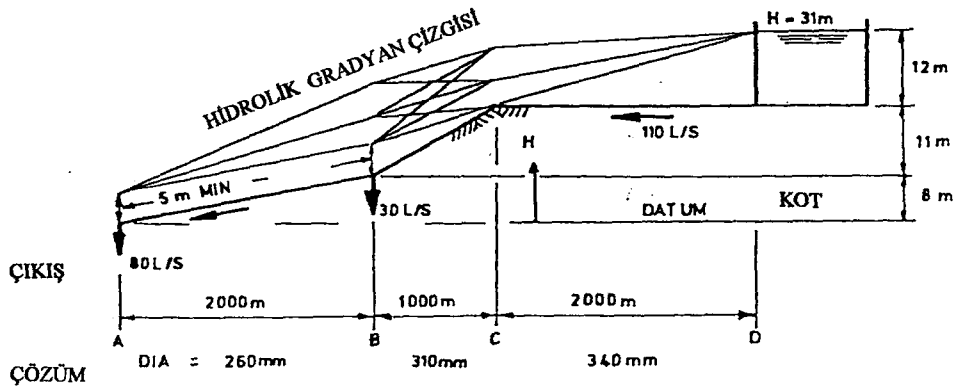
Matematiksel optimizasyon teknikleri aynı zamanda sistem analizi teknikleri (aşlında tasarım tekniği olduğundan yanlış bir terimdir) veya yön-eylem teknikleri (yine yeterince tanımlayıcı olmayan bir terim) olarak da bilinir. Burada matematiksel optimizasyon teknikleri terimi kullanılacaktır. Bu tür teknikler simülasyon (veya matematiksel modelleme) ile birlikte en dik yükselen yol veya rasgele arama gibi bir seçim metodu kullanır.

Direkt optimizasyon metotları arasında dinamik programlama (bir dizi olay veya nesnenin optimizasyonu için kullanışlıdır), taşıma programlaması (kaynakların taleplere göre tahsisi için kullanışlıdır), ve lineer programlama (eşitsizlikler için kullanışlıdır) (van der Veen, 1967 ve Dantzig, 19663) yer alır. Lineer programlama genellikle bilgisayar kullanımını gerektirir, bunun için mevcut birçok standart optimizasyon programı vardır.

4.2.1. BİLEŞİK BORULARIN OPTİMİZASYONU İÇİN DİNAMİK PROGRAMLAMA

Dinamik programlama, en basit optimizasyon tekniklerinden biri olup, gerçekten bilgisayara gerek duyulmadan kullanılabilen bir tekniktir. Temelde bir dizi olay arasından optimum bir program seçmenin sistematik bir yoludur ve herhangi bir şekilde matematiğe dayalı değildir. Bu teknik, basınçlara ve akımlara bağlı olarak, uzunluğu boyunca çapı değişebilen bileşik bir boru için en ekonomik çapın seçiminde kullanılabilir. Örneğin, bir depodan birden fazla tüketiciyi besleyen bir ana iletim hattı göz önüne alındığında, bu iletim hattının çapının hat boyunca akım çekildikçe azaltılması mümkündür. Sorun, borunun herbir bölümü için en ekonomik çapı seçmektir.

Bu tekniğin kullanımını gösteren basit bir örnek olarak Şekil 4.2 'deki boru hattı ele alınacaktır. Boru hattından iki tüketici akım çekmektedir, ve herbir tüketim noktasındaki yükün 5 m 'nin altına düşmemesi gerekmektedir, aynı zamanda hidrolik eğim seviyesinin herhangi bir noktada boru profilinin altına düşmemesi gereklidir. Şekilde herbir noktadaki yükseklikler borunun herbir bölümü için uzunluklar gösterilmiştir. Borunun maliyeti, borunun metresi başına 0.1 \$ / çap (mm) olarak verilmiştir (Burada maliyetin basınç yükünden bağımsız olduğu düşünülmeyle birlikte, böyle bir değişimin ele alınması da oldukça basittir). Analiz borunun akımın tersine olan ucunda (A noktasında) başlayacaktır. En ekonomik düzenleme, A noktasındaki minimum yük farkı, yani 5 m olacaktır. B noktasındaki yük, H, verinin üzerinde 13 m ve 31 m arasında herhangi bir değer alabilir, ancak analizi basitleştirmek için, B ve C noktalarında aralarında 5 m mesafe olan sadece üç olası yük ele alınacaktır.



Şekil 4.2. Dinamik programlama ile optimize edilen boru hattı profili

A ve B noktaları arasındaki boru çapı, D, olası üç yükün herbirine uygun olarak Tablo 4.4 (I) 'de gösterildiği gibi bir yük kayıp tablosundan belirlenebilir, bunlara karşılık gelen maliyetler de yine aynı tabloda verilmiştir.

C noktasında da üç olası yük ele alınacaktır B ve C arasındaki hidrolik eğim hattı sayısı $3 * 3 = 9$ olmakla birlikte, bunlardan biri eğimin tersine yönde olduğundan ihmal edilebilir. Tablo 4.4 (II) 'de B ve C arasındaki her bir hidrolik eğim hattı için çeşitli değerler verilmiştir. Dolayısıyla, $H_B = 13$ ve $H_{CE} = 19$ ise, C noktasından B noktasına hidrolik eğim 0.006 olacaktır ve 110 //s lik bir akım için gereken çap olarak, (eldeki verilere dayanarak) 310 mm alınacaktır. Bu boru hattının maliyeti $0.1 * 310 * 1000 = 31000$ \$ olacaktır. Bu maliyet değerine A ve B arasındaki borunun maliyetinin eklenmesi gereklidir, bu da 60000 \$ dır (Tablo 4.4 (1) den). Her bir olası H_C yükü için, A ve C arasındaki borunun bir minimum toplam maliyeti vardır, bu da ' * ' ile gösterilmiştir. Borunun diğer bölümlerini işleme sokarken, sadece bu maliyetin ve buna karşılık gelen çap değerlerinin tekrar kullanılması gerekecektir. Bu örnekte, C ve D arasındaki bir sonraki bölüm sonuncu bölümdür ve D noktasında bir tek olası yük vardır, bu da depo seviyesidir.

Tablo 4.4 (III) 'de, C-D bölümü için hidrolik eğimler, bunlara karşılık gelen çaplar ve maliyetler verilmiştir. Bu bölümdeki boru maliyetlerine C 'ye kadar olan optimum boru düzenlemelerinin maliyetleri eklenir. Bu işlem, C 'deki her bir olası yük ve Tablo 4.4 (III) 'den seçilen minimum toplam maliyet için yapılır. Bu nedenle, olası minimum toplam maliyet 151000 \$ ve A-B, B-C, ve C-D bölümleri için en ekonomik çaplar sırasıyla 260, 310 ve 340 mm 'dir.

Tablo 4.4 Bileşik bir borunun optimizasyonu için dinamik programlama

I.

| B deki YÜK | HİDR. EĞİM | ÇAP mm | MALİYET \$ |
|------------|------------|-----------|------------|
| H_B | h_{B-A} | D_{B-A} | |
| 13 | .004 | 300 | 60000 |
| 18 | .0065 | 260 | 52000 |
| 23 | .009 | 250 | 50000 |

II.

| H _C = H _B | 19 | | | 24 | | | 29 | | |
|------------------------------------|------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|
| | h _{C-B} | D _{C-B} | MAL. \$ | h _{C-B} | D _{C-B} | MAL. \$ | h _{C-B} | D _{C-B} | MAL. \$ |
| 13 | .006 | 310 | 31000 | .011 | 270 | 27000 | .016 | 250 | 25000 |
| | | | <u>60000</u> | | | <u>60000</u> | | | <u>60000</u> |
| | | | 91000 | | | 87000 | | | 85000 |
| 18 | .001 | 430 | 43000 | .006 | 310 | 31000 | .011 | 270 | 27000 |
| | | | <u>52000</u> | | | <u>52000</u> | | | <u>52000</u> |
| | | | 95000 | | | 83000 | | | 79000 |
| 23 | | | | .001 | 430 | 43000 | .006 | 310 | 31000 |
| | | | | | | <u>50000</u> | | | <u>50000</u> |
| | | | | | | 93000 | | | 81000 |

III.

| H _C | h _{D-C} | D _{D-C} | MALİYET \$ |
|----------------|------------------|------------------|--------------|
| 19 | .006 | 310 | 62000 |
| | | | <u>91000</u> |
| | | | 153000 |
| 24 | .0035 | 340 | 68000 |
| | | | <u>83000</u> |
| | | | 151000 * |
| 29 | .001 | 430 | 86000 |
| | | | <u>79000</u> |
| | | | 165000 |

Boruların standart çaplarda olması istendiği takdirde, hesaplar ilerledikçe her bir bölüm için en yakın standart çap seçilebilir veya birincisi en yakın daha büyük standart çaplı ve diğeri de en yakın daha küçük standart çaplı olmak üzere, her bir uzunluk iki bölümden oluşturulabilir. Ancak, teorik olarak aynı yük kayıp değerleri elde edilecektir.

Elbetteki boruda daha fazla bölüm ele alınması mümkündür, ve her bir bölümde daha fazla olası yükün gözönüne alınması doğruluk derecesini artıracaktır. Boruların maliyeti basınca göre değiştirilebilir. Harhangi bir noktada bir pompa istasyonunun

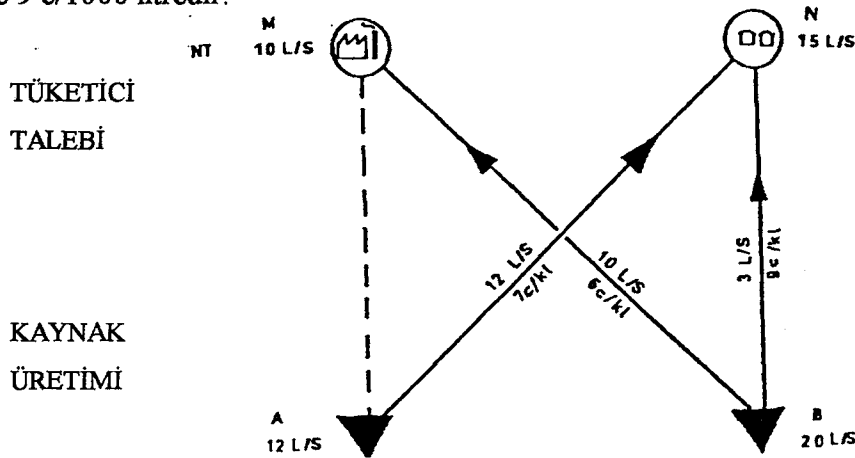
alınması durumunda, istasyonun maliyetinin ve güç maliyetinin tablolara eklenmesi gerekir. Birçok olasılığın gözönüne alındığı durumlarda bilgisayar ve mevcut standart dinamik programlama yazılımlarının kullanımı yararlı olacaktır.

Dinamik programlama tekniği, herbir adımda minimum-maliyet düzenlemesini seçtiği için ele alınacak olasılık sayısını azaltmaktadır. Kally (1969) ve Buras ve Schweig (1969) bu tekniğin benzer ve farklı problemler için çeşitli uygulamalarını tanımlamışlardır.

4.2.2. MİNİMUM-MALİYETLİ KAYNAK TAHSİSİ İÇİN TAŞIMA PROGRAMLAMASI

Taşıma programlaması, normalde bilgisayar kullanımını gerektirmeyen bir başka tekniktir. Bu teknik, özellikle çok sayıda kaynağın ürettiği arzın çok sayıda tüketici talebine minimum-maliyetli bir sistem oluşturacak şekilde tahsis edilmesi için kullanılır. Kaynağın herbir yol boyunca dağıtımının maliyetinin, dağıtım miktarı ile lineer olarak orantılı olması gerekmektedir, bu nedenle bu teknik genellikle optimum boru ölçülerinin seçiminde kullanılmaz. Bununla birlikte mevcut bir boru dağıtım sisteminde, sürtünme yükünün statik yüke oranla küçük olduğu durumlarda veya taleplerin kesin olarak bilinmediği şartlarda taslak bir plan oluşturabilmek için, minimum-maliyetli pompalama planlarının seçiminde kullanılabilir.

Bu tekniği göstermek üzere ele alınacak örnekte, iki su kaynağı, A ve B, ve iki tüketim noktası, M ve N, vardır. A ve B sırasıyla 12 ve 20 l/s lik bir dağıtım yaparken, M ve N sırasıyla 10 ve 15 l/s lik bir miktara gereksinim duymaktadırlar. Bu nedenle su fazlası vardır. A-M, A-N, B-M ve B-N yolları boyunca pompalama maliyetleri sırasıyla 5, 7, 6, ve 9 c/1000 litredir.



Şekil 4.3 Taşıma programlaması örneği için minimum -maliyetli tahsis düzeni

Tablo 4.5 Taşıma programlaması - tahsis sisteminin optimizasyonu

| KAYNAK ÜRETİM | TÜKETİCİ: TALEPLER: | FAZLALIK | | | DEGER. SAYISI: |
|-----------------------|------------------------|----------|----|----|-------------------|
| | | M | N | | |
| | | 10 | 15 | 7 | |
| A | 12 | 5 | 7 | 0 | 0 |
| | | 10 | 2 | -2 | |
| B | 20 | 6 | 9 | 0 | 2 |
| | | 7 | 13 | 7 | |
| DEĞERLENDİRME SAYISI: | | 5 | 7 | -2 | |
| (II) | | 10 | 15 | 7 | |
| A | 12 | 5 | 7 | 0 | 0 |
| | | 4 | 12 | -2 | |
| B | 20 | 6 | 9 | 0 | 2 |
| | | 10 | 3 | 7 | |
| | | 4 | 7 | -2 | |

Çözüm için veriler Tablo 4.5(I) 'de verilmiştir. Her satır bir kaynağı ve her sütun bir talebi göstermektedir. Herbir yol için birim taşıma maliyeti tablonun karşılık gelen bloğunun sağ üst köşesinde gösterilmiştir. İlk adım kaynakların, arzı ve talebi karşılayacak şekilde keyfi olarak atanmasıdır. Tablonun sol üst bloğundan başladığında, olası maksimum tahsis miktarı 10 dur. Bu da M sütununun talebini karşılar ve miktar AM bloğunun sol alt köşesine yazılır. Bir sonraki sütuna ilerlendiğinde, ilk sütun tamamlandığından, ilk satırdaki maksimum tahsis miktarı 2 dir, bu da A satırının arzına denk gelir. Böylece ele alınacak bir sonraki blok B satırı ve N sütununun kesişim noktası olan bloktur. Tablo boyunca, bütün kaynaklar tahsis edilinceye kadar (ilave boş sütunlar da dahil olmak üzere), herbir adımda maksimum tahsisler yapılarak ilerlenir. Bu şekilde, bir sonraki tahsis miktarı, ikinci satırda 13 ve üçüncü sütunda 7 dir.

Başlangıç tahsisi yapıldıktan sonra, rakanmlar minimum-maliyetli dağıtım oluşuncaya dek metodik olarak yeniden düzenlenir. En karlı düzenlemenin hangisi olacağına karar vermek için, her satır ve sütuna aşağıda belirtildiği şekilde bir değerlendirme sayısı atanır:

Birinci satıra 0 değeri verilerek diğer değerlendirme sayıları (satır değerlendirme sayısı ve sütun değerlendirme sayısının toplamı işlenen bloğun maliyet katsayısına eşit olacak şekilde) bulunur. M sütunu için bu değer 5, N sütunu için 7, B satırı için 2 dir. Daha sonra, satır ve sütun değerlendirme katsayıları toplamı işlenmemiş bloğun maliyet katsayısının altına yazılır. Eğer bu toplam, bloğun maliyet katsayısından büyükse, bloğa bir kaynağın tahsis edilmesi yararlı olacaktır. Bunu bir bakışta görmek kolay olmasa da,

işlenmiş blokların maliyet katsayılarından, herbir değerlendirme sayısı belirlenerek bulunabilir. Olası en büyük gelişme oranı, değerlendirme sayısı ve maliyet katsayısı arasındaki en büyük fark ile bulunur. Örnek için sadece bir tane olan en büyük gelişme, BM bloğuna bir miktar eklemektir. BM bloğuna eklenebilecek maksimum miktar, işlenen blokları köşe olarak kullanan kapalı bir göz çizmektir (Tablo 4.5(II) deki nokta nokta çizilerek gösterilmiştir). BM bloğuna eklenen herbir birim için, BN bloğundan bir birimin çıkarılması, AN bloğuna eklenmesi ve AM bloğundan çıkartılması gerektirir, bu şekilde arz ve talep dengelenir. Örnek için BM bloğuna maksimum tahsis miktarı 10 dur, çünkü bu miktar AM bloğunu boşaltacaktır. Maksimum yeni-dağıtım (yani 10) yapılır ve kapalı gözün köşelerindeki blokların miktarları arz ve talebi dengelemek üzere 10 ile ayarlanır. Bir seferde sadece bir yeni-kaynak-dağıtım yapılmalıdır.

En iyi tahsis yapıldıktan sonra, değerlendirme sayısı ve toplamı Tablo 4.5(II) de gösterildiği gibi tekrar hesaplanır. Kaynak en karlı bloğa tahsis edilir ve yeni-dağıtım işlemi daha başka maliyet gelişim olasılığı kalmayınca kadar tekrarlanır (yani herhangi bir bloğun maliyet katsayısından daha büyük bir değerlendirme sayısı kalmayınca kadar). Örnek için optimum dağıtım iki adımda elde edilmiştir, ancak daha fazla sayıda kaynak veya tüketim noktası olması durumunda ortaya çıkan karmaşık yapıların daha fazla adım gerektirmesi sözkonusu olabilir.

Örnek sadece taşıma programlaması konusuna bir giriş amacı taşımaktadır. Matematiksel optimizasyon teknikleri konusunda yazılmış çeşitli kaynaklarda (Örneğin Veen (1967) ve Dantzig (1963)) daha farklı durumlar için ele alınmış uygulamalar bulunabilir. Örneğin, tabloda aynı anda iki bloğun boşaltılması gerekiyorsa, bloklardan birine çok küçük bir miktar olan ve mesela 'e' ile gösterilen bir miktar atanır. Hesaplar daha önce olduğu gibi yapılır ve sonuçta 'e' miktarı gözardı edilir.

4.2.3. ŞEBEKENİN GENİŞLETİLMESİ İÇİN EN DİK YÜKSELEN YOL TEKNİĞİ

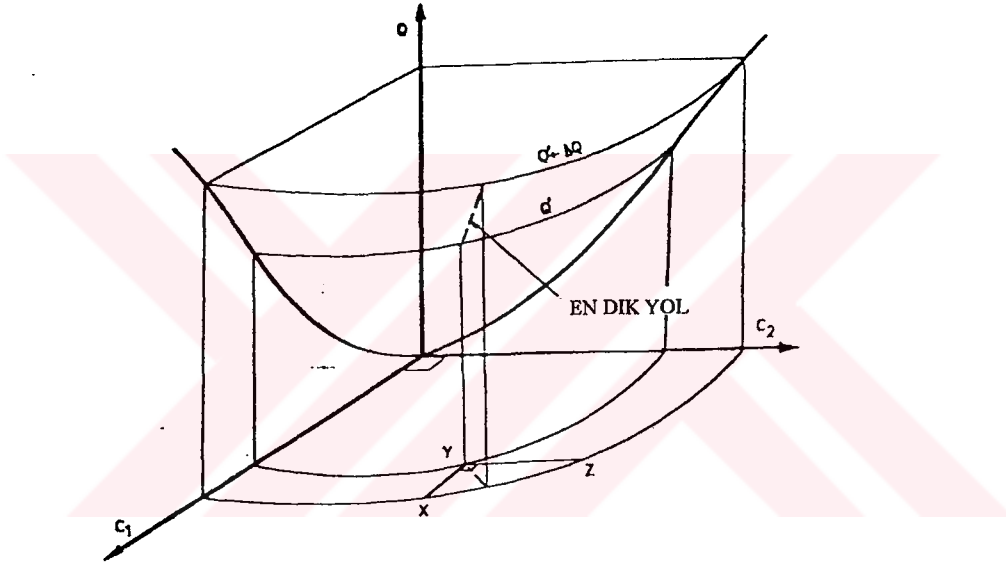
Şebekelerin minimum maliyetle genişletilmesi için 'en dik yükselen yol tekniği' kullanılabilir (Stephenson, 1970). Bu teknik, özellikle mevcut şebekelerde taleplerin kapasiteyi aşması durumunda yeni boruların eklenmesi için kullanılır.

Sistemdeki noktaların genellikle farklı yollar boyunca veya farklı kaynaklardan beslenmesi mümkündür. Kaynaktan talebe bütün yol boyunca boru çekilmesi gerekmeyebilir veya yeni borunun çapı bir bölümden diğerine değişiyor olabilir.

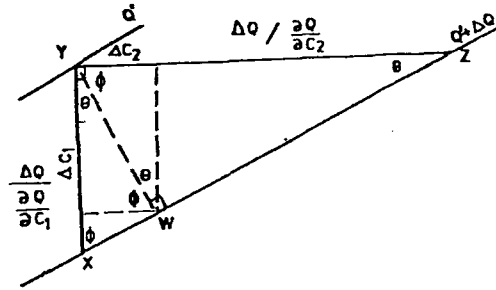
Yükseklik, ve dolayısıyla basınç yükü, boru hattı borunca değiştiği için, farklı bölümlerde farklı boru çaplarının optimum olması sözkonusudur.

Optimizasyon tekniğinin karmaşıklığı nedeni ile, bilgisayar kullanımı gereklidir. Uygulama öncesinde, suyun bir düğüm noktasını besleyebileceği alternatif yollar elle belirlenir. Daha sonra talepleri karşılayacak optimum boru hatlarını ve çapları belirlemek için, bilgisayar programı kullanılır.

Tekniğin optimum bir tasarım elde etmek için kullanımı diyagramlar aracılığı ile verilmiştir.



Şekil 4.4. İki borunun debisi ve maliyeti arasındaki bağıntı



Şekil 4.5. En dik yolun C_1 - C_2 düzlemindeki izdüşümü

Boru hattı maliyetleri çapın ve cidar kalınlığının artmasıyla yükselir. Cidar kalınlığı genellikle çapla orantılı olarak arttığı için, metre başına maliyet, çapın karesinin bir fonksiyonu olacaktır.

Verilen bir yük eğimi için debi, boru çapının yaklaşık olarak 2.5 üssü ile orantılıdır. Bununla birlikte, eğer boru kaynaktan talebe olan bütün yol boyunca döşenmeyip sadece şebekenin bir kısmını besliyor ise, kapasite şebekenin geri kalan kısımlarının kapasitesi ile sınırlı olacaktır. Dolayısıyla, debinin yeni bir boru bölümünün maliyetinin birden fazla bir üssüne göre değiştiğini, ancak boru şebekesinin diğer kısımlarının kapasitesi ile sınırlı olduğunu söylemek mümkündür.

Birden fazla boru eklenmesi durumunda, debi ve boru maliyetleri arasındaki bağıntı çok boyutludur. Şekil 4.4 şebekede iki borunun maliyetleri ve belli bir düğüm noktasındaki debi arasındaki bağıntıyı göstermektedir.

Şekil 4.4 'deki C_1 - C_2 düzlemindeki eğriler sabit Q debisinin doğrularıdır. Birbirinden çok kısa mesafedeki iki Q doğrusu arasındaki en kısa yol, bunlara dik bir doğrudur. Bu aynı zamanda aranan ve en dik debi/maliyet eğimli yoldur. İşlemler bu nedenle merkezde başlar ve istenen Q debisi elde edilene kadar C_1 - C_2 düzleminde artımlarla devam eder, herbir artımbir sonraki Q doğrusuna diktir.

Maliyet artımlarına göre çap artımlarını belirlemek için, C_1 - C_2 düzlemindeki herbir adımda herbir borunun maliyerindeki gerçek artımın hesaplanması gerekmektedir. Şekil 4.5 'de büyütülmüş olarak verilen XYZ üçgeni ele alınarak, Q daki YW artımına karşılık gelen C_1 ve C_2 hesaplanacaktır.

$$\cos \theta = \frac{\frac{\Delta Q}{\partial Q}}{\frac{\partial C_2}{\partial Q}} \bigg/ \sqrt{\left(\frac{\Delta Q}{\partial C_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Q}{\partial C_1}\right)^2} \quad (4.1)$$

$$= \frac{\frac{\partial Q}{\partial C_1}}{\sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial C_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_2}\right)^2}}$$

$$YW = \Delta Q \bigg/ \frac{\partial Q}{\partial C_1} \cos \theta \quad (4.2)$$

$$\Delta C_1 = YW \cos \theta = \Delta Q \bigg/ \frac{\partial Q}{\partial C_1} \cos^2 \theta \quad (4.3)$$

$$= \frac{\Delta Q \frac{\partial Q}{\partial C_1}}{\left(\frac{\partial Q}{\partial C_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_2}\right)^2} \quad (4.4)$$

Benzer şekilde

$$\begin{aligned} \Delta C_2 &= YW \cos \phi \\ &= \Delta Q / \frac{\partial Q}{\partial C_2} \cos^2 \phi \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$= \frac{\Delta Q \frac{\partial Q}{\partial C_2}}{\left(\frac{\partial Q}{\partial C_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial C_2}\right)^2} \quad (4.6)$$

dir.

Aynı şekilde, olası n boru için

$$\Delta C_i = \frac{\Delta Q \frac{\partial Q}{\partial C_i}}{\sum_{i=1,n} \left(\frac{\partial Q}{\partial C_i}\right)^2} \quad (4.7)$$

olduğu bulunabilir.

Herhane bir borunun C_i maliyetine göre debi artım oranı, $\partial Q / \partial C$, şebekenin, D_i çapındaki küçük bir artımla ve artım olmaksızın analiz edilmesi ile bulunur. Debideki artımın, çaptaki artımla beraber i borusunun maliyetindeki artım ile bölümü aranan bağıntıyı verir. Adım başına debi artımı, ΔQ , herbir adımda maliyet artımı yukarıdaki denklemlerle bulunabilecek şekilde seçilir. Buna karşılık gelen çap artımları daha sonra bilinen çap/maliyet bağıntılarından yararlanarak hesaplanır. Yeni boruların çapları, belirli

düğüm noktasındaki debi yeterli olana kadar adım adım artırılır. Her adım sonunda sistemin dengesini korumak için bir şebeke analizi yapılmalıdır.

Şekil 4.4 'en görülebileceği gibi, dar bir alandaki maksimum noktaların bu teknik yardımıyla bulunması mümkündür, çünkü debi/maliyet eğrileri genellikle yukarı doğru içbükeydir ve çok az büküm noktası vardır.

Şimdiye kadar teknik, bir seferde sadece tek bir düğüm noktasını beslemek için kullanılmıştır. Boru hattı sisteminin, yeterli yakınsamaların elde edilmesi için uygun şartlarda olması gereklidir. Genellikle yeni boruların çaplarını başlangıçta sıfırdan büyük (örneğin beklenen sonuç çap değerinin 1/4 üssü) bir değer olarak seçmek gereklidir. Aksi takdirde, diferansiyel denklemler için lineer yakınsama başlangıç adımlarında gerçek değerlerden uzak olacak ve yanlış sonuçların elde edilmesine neden olacaktır.

4.2.4. GÖZLÜ ŞEBEKE TASARIMI

Daha önceden kapalı gözler içeren şebekelerin deneme-yanılma yöntemlerine başvurmadan veya ardışık yakınsamalar olmaksızın tasarlanmasının mümkün olmadığı açıklanmıştır. Nonlineer akım/yük kaybı bağıntısı, akım miktarının ve yönünün başlangıçta bilinmiyor olması, boru çaplarının standartlara uyma ve minimum ölçülerden büyük olması gereklilikleri tasarımlar açısından sorun teşkil eder. Minimum-maliyetli gözlü şebeke tasarımları için önerilen yaklaşımların hiçbiri bu problemlerin hepsine birden çözüm bulamaz ve gerçek minimum-maliyetli tasarıma ulaşılması mümkün olmaz. Yine de bu çözümler, standart metodlarla yapılan çözümlerden daha ekonomik bir şebeke tasarımı elde edilmesini sağlar, ve tasarım mühendisince üzerinde çalışabileceği bir başlangıç sistemi sunarlar.

Sınır şartlarını da gözönüne alan minimum-maliyetli çözümler için önerilen bazı teknikler aşağıda verilmiştir:

(i) Göz/düğüm düzeltme metodu

Hardy-Cross analizinden çok fazla bir fark göstermeyen bu minimum-maliyetli tasarım tekniğinde optimizasyon işlemleri, çoğu mühendise de yabancı olan lineer ve nonlineer programlama tekniklerini kullanmak yerine, maliyet fonksiyonunun diferansiyelini temel alan bir düzeltme metodu kullanarak, şebekedeki her bir düğüm ve göz için ardışık maliyet düzenlemesi aşağıda belirtildiği şekilde yapılır:

Herhangi bir boru maliyeti

$$C=aD^bI \quad (4.8)$$

olarak alınır (a ve b sabit).

Herhangi bir boru için D çapı, Q akımı ve h yük kaybı cinsinden ifade edilebilir:

$$D = (KIQ^n / h)^{1/m} \quad (4.9)$$

(K, m, ve n sabit).

Böylece

$$C=a(KIQ^n / h)^{b/ml} \quad (4.10)$$

olur.

Diferansiyeli alındığında

$$dC = (nb/m) (C/Q)dQ - (b/m)(C/h)dh \quad (4.11)$$

dir.

Borunun maliyeti iki şekilde değiştirilebilir: h yük kaybını sabit tutup Q akımı değiştirilir veya Q sabit tutulup h değiştirilir. Aslında minimum-maliyetli şebeke tasarımında her iki faktörün de gözönüne alınması gereklidir. Çapların ve bunlara karşılık gelen maliyetlerin iki bağımsız değişkene bağlı olması matematiksel optimizasyon modellerinde çoğunlukla ihmal edilen bir gerçektir.

Şebekenin optimizasyonunu tamamlamak için aşağıdaki işlemler yapılır:

- Bir boru yerleşim düzeni ve her boru için uygun başlangıç çapları seçilir.
- Herbir borudaki akımı ve herbir düğüm noktasındaki yükü belirlemek için şebeke, örneğin Hardy Cross metodu gibi bir metotla analiz edilir. Sabit depo yükleri ve tüketimler de gözönüne alınabilir.
- Sırayla her göz için ve gözdeki herbir boru için $dC/dQ=(nb/m) (C/Q)$ toplamı hesaplanır. Eğer Q gözde pozitif olarak seçilen yönde çıkarsa dC/dQ 'nin pozitif değeri,

aksi takdirde negatif değeri alınır. Eğer $\Sigma dC/dQ$ pozitifse, yani akım arttıkça maliyet de artıyorsa, göz çevresinde pozitif yöndeki akımın azaltılması yararlı olacaktır. Eğer $\Sigma dC/dQ$ negatifse, göz çevresindeki akımın artırılması yararlı olacaktır. $\Sigma dC/dQ$ 'nin işaretine bağlı olarak göz çevresindeki akıma bir miktar eklenir veya çıkartılır, ve yük kayıplarını dengede tutmak için, bu değişimlere uygun olarak her bir borunun çapı sırasıyla ya azaltılır ya da artırılır. Maksimum değişim miktarı, herhangi bir akımı sıfıra düşürecek veya herhangi bir boru çapını belli bir minimumun altına düşürecek değerdir. Bundan, örneğin yarısı kadar, fazla bir değişim miktarını kullanmak tercih edilecek bir seçimdir. Analiz tekrarlanarak, bir gözden diğerine geçilir. $\Sigma dC/dQ$ 'nun mutlak değerindeki azalma miktarına göre ilerlemek uygundur, yani akım düzeltmelerini yapmadan önce gözlerin sıralanması gerekir.

(d) Sabit yüklü depolar dışında, sırayla her bir düğüm noktası ve bu noktaya bağlı her boru için, $dC/dh=(b/m)(C/h)$ toplamı hesaplanır. Eğer yük düğüm noktasına doğru düşüyorsa pozitif değeri, düğüm noktasından dışarı doğru düşüyorsa negatif değeri alınır. Eğer $\Sigma dC/dh$ pozitifse, düğümdeki H yükünü azaltmak, negatifse artırmak gerekir. Düğümdeki yükün artırılması ile, akım dengesini korumak için düğüm noktasına giren boruların çaplarının artırılması, çıkan boruların çaplarının düşürülmesi gerekli olacaktır. Bunun aksine, düğümdeki yükün azalması durumunda, düğüm noktasına giren boruların çaplarının küçültülmesi, çıkan boruların çaplarının artırılması gerekli olacaktır. Boru çaplarını belli minimum değerlerin altına düşürmeden veya akım yönlerini değiştirmeden maliyeti azaltabilecek maksimum yük değişim miktarı belirlenir. Düğüm noktasındaki yükün de belli bir minimum değer üzerinde tutulması gerekmektedir. Yük, maksimum yük değişimine göre, hatta tercihen bu değerle sınırlı olarak (örneğin yarısı kadar) değiştirilir ve düğüm noktasına bağlı borular için yeni çaplar hesaplanır.

(e) c ve d adımları maliyette farkedilebilir bir gelişme olmayıncaya kadar tekrarlanır. b adımıdaki başlangıç akım dengesinde, denge olmadığı görüldüğü takdirde daha başka şebeke analizi yapılmasına gerek yoktur. Ancak akım yönlerinin birkez belirlendikten sonra bir daha değiştirilemeyeceklerine dikkat etmek gerekir. Bu nedenle, başlangıçta seçilen çap değerlerinin gerçeğe uygun ve buna karşılık gelen akım değerlerinin de genel olarak doğru olması oldukça önemlidir.

Teknik, boru çapları için standart dışı sonuçlar verecektir, ve bunların en yakın standart boru ölçüleri ile değiştirilmeleri gerekecektir veya her boruyu, biri analiz sonunda elde edilen değerden daha büyük en yakın çap, diğeri de en yakın daha küçük

çaptan oluşmak üzere iki bölüm halinde yapmak gerekli olacaktır. Herbir bölümün uzunluğu, toplam yük analiz sonucunda elde edilen toplama eşit olması gerekliliğinden yararlanarak hesaplanır. Hesaplamalar, çok uzun olduğu ve Hardy Cross şebeke analizindekiler kadar basit olmadıkları için bilgisayar ile yapılması gereklidir.

(ii) Lineer programlama ile akım düzeltme

Önceki bölümde her boru için, dC 'nin dQ ve dH ile lineer olarak orantılı olduğu gösterilmişti (Q ve H deki değişimlerin küçük olması şartı ile). Eğer amaç fonksiyonu her boru için ΣdC 'nin minimizasyonu olarak alınırsa, problem bir lineer optimizasyon problemi gibi düşünülebilir. Lineer yaklaşımlar:

$$\text{Her düğüm için } \Sigma dQ_{\text{giren}} = 0 \quad (dQ \text{ pozitif veya negatif olabilir})$$

$$H \geq a \quad (\text{belirli minimum})$$

şeklinde olacaktır.

Amaç fonksiyonu $\Sigma dC = \text{minimum}$ 'dur (dC , herbir borudaki akımlardaki ver herbir düğüm noktasındaki yüklerdeki değişimlerin lineer bir fonksiyonudur). Başlangıç olarak bir şebeke alınıp analiz edildiğinde, herbir borudaki akımdaki ver herbir düğüm noktasındaki yükün değişim miktarlarını seçmek için standart bir lineer programlama yazılımı kullanılabilir. Daha sonra bunlara uygun çaplar hesaplanır. Akımdaki ve yükteki değişim çok küçük bir değerle sınırlı değilse, lineer programlama optimizasyonundan sonra yük kayıplarında dengesizlik olacak ve şebeke analizi gerekecektir. Lineer programlama optimizasyonu ve şebeke analizi, toplam şebeke maliyetinde azalma olmayıncaya kadar tekrarlanır. Lineer programlama tablosunu oluşturmak için kullanılacak altprogramlar oldukça karmaşık olduklarından, büyük şebekeler için çok fazla bilgisayar belleğine gereksinim olacaktır.

Gereken bellek miktarı boru sayısının karesi ile orantılıdır, Göz/düğüm düzeltme metodu içinse bellek, lineer boru sayısı ile orantılıdır.

Standart dışı çaplar elde edilecektir, ve akım yönleri bir kez seçildikten sonra değiştirilemez.

(iii) Nonlineer programlama

Boru şebekesi tasarımı nonlinear bir problem olduğundan, standart veya özel bazı nonlinear programlama yazılımları kullanılabilir. Bu programların çoğu en dik yükselen yol tekniğini kullanır. Yaklaşımları ve amaç fonksiyonunu formüle etmek için bir

altprogram gerekecektir. Yaklaşımlar lineer olarak ifade edilebilir, ancak amaç fonksiyonu nonlineerdir.

Yaklaşımlar:

Her düğüm için $\Sigma Q_{giren} = 0$

Her sabit-yüklü düğüm için $H = a$ (belirli değer)

Her değişken-yüklü düğüm için $H \geq a$ (belirli minimum)

Her göz için $\Sigma h = 0$

Amaç fonksiyonu $\Sigma C = \Sigma a (KIQ^n / h)^{1/m}$
= minimum

Standart dışı çaplar elde edilecektir ve akım yönlerinin başlangıçta belirlenmesi gereklidir. Nonlineer programlama tekniği oldukça karmaşık olduğundan, hatalar oluştuğu takdirde, kullanılan yazılımın adım adım takip edilmeye çalışılması zor olabilir.

(iv) Optimum uzunluk metodu

Kally (1971), akımları bilinen ağaç-tipi şebekelerin optimizasyonu için lineer programlama metoduna çok benzer bir metod önermiştir.

Bu metotla gözlü şebekenin optimizasyonundan sonra akımların muhtemelen yeniden dağılımı olacağından, herbir düğüm noktasında akımları dengelemek için Hardy Cross analizi yapılması gerekecektir, daha sonra başka bir optimizasyon yapılacak ve işlem bu şekilde sürecektir.

Hardy Cross analizi ile akımları hesaplayan bir programa başlangıç çap tahminleri girilir. Herhangi bir borunun, bir bölümündeki küçük bir çap değişimi için çeşitli düğüm noktalarında buna karşılık gelen yükler hesaplanır. Yük değişimi ve genişletilmiş (veya küçültülmüş) boruların uzunluğu lineer olarak düşünülür, ve yeni çaplı her bölümün optimum uzunluğu lineer programlama ile hesaplanır. Çaplar standart ölçülerle sınırlandırılabilir.

(v) Eş boru metodu

Deb (1973), bir yerleşim planındaki bütün boruları, önceden tanımlanmış genel bir uzunluğu ve eş çapları olan borularla değiştirir (yük kayıpları etkilenmeyecek şekilde).

Başlangıç akım düzenlemesi yapıldıktan sonra, bu düzenleme ardışık gözler için boru çapları ayarlanarak adımlar halinde düzeltilir. Herhangi bir gözün toplam boru maliyeti, belli bir akım sınırındaki minimum bir değerdir, yani gözdeki aynı boruların akımı belirli bir minimuma eşit olacaktır.

Herbir boru boyunca akan akımın minimum oranını sınırlayacak bir yaklaşım kullanılabilir (çatlama veya tıkanma olması ihtimaline karşı güvenlik ve işlemin devamlılığı için gerekir, ayrıca borularda belirli minimum değerlerdeki akımların olması da genellikle gereklidir).

Her göz için bir minimum maliyet ve göz maliyetini beklenen rakama ulaştıracak bir akım düzenlemesi hesabı yapılır. Eğer minimum akım sınırı aşıyorsa, yeni bir minimum maliyet değeri alınır ve daha sonra akımlar buna uygun olarak düzeltilir. Akımlar izin verilen sınırlar içinde ise, göz maliyeti çok az artırılır ve akımlar tekrar düzeltilir. Bu işlem sınırları aşmadan maliyet azalması olmayıncaya dek tekrarlanır.

Bu teknik standart dışı çaplar verecektir, ve başlangıç akım tahminlerine oldukça bağımlıdır. İçerdiği denklemler başlangıç tahminlerini zorlaştırabilir.

V BÖLÜM UYGULAMA

5.1. Örnek Şebeke Sisteminin Tanıtımı

Bu bölümde, İstanbul'a 30 km mesafede, Küçükçekmece, Büyükçekmece arasında kurulacak olan bir yerleşim alanına ait içme ve kullanma suyunu sağlayacak şebeke sisteminin çözümü, ölü nokta, Hardy Cross, lineer ve nonlinear analiz yöntemleri ile gerçekleştirilecektir.

Öncelikle dikkate alınan uygulama alanı hakkında genel bilgi ve İSKİ şartnamesine göre proje kriterleri verilecektir. İnşaat alanı 176 m kottan 126m kota doğru akmaktadır. Şebeke planı, alan üzerindeki yol ve konutların yerleşim durumuna göre yapılmıştır. Verilen basınç değerlerinin minimum 30 m, maksimum 80 m olacak şekilde projelendirilmelidir. Günlük su tüketimi 250 l / kişi * gün alınmıştır. Minimum boru çapı 100 mm dir. Boru cinsi Düktil Font borudur. Maksimum hız 1.2 m/s, minimum hız 0.5 m/s alınmıştır. Proje alanında mevzi imar planına göre nüfus yoğunluğu 400 kişi/ha alınmıştır. Nüfus yoğunluğu sabit olduğundan yoğunluk katsayısı k=1 alınmıştır. Yangın muslukları yerlerinin tespitinde hortum uzunluklarının 75 m olduğu dikkate alınmıştır.

Hidrolik çözüm için Düktil boruda pürüzlülük katsayısı $c=140$ alınacaktır.

Nüfus ve içme suyu ihtiyaç debi hesabı

$$A = 65.30 \text{ ha}$$

$$\text{Nüfus yoğunluğu} = 400 \text{ kişi/ha}$$

$$\text{Nüfusu} = N_1 = 65.30 * 400 = 26120 \text{ kişi}$$

$$\text{Günlük su tüketimi} = q^1 = 250 \text{ lt/kişi*gün}$$

$$\text{Şebeke debisi} = Q_1 = 1.9 * q^1 * N_1 / 86400$$

$$Q_1 = 1.9 * 250 * 26120 / 86400$$

$$Q_1 = 143.60 \text{ lt/s}$$

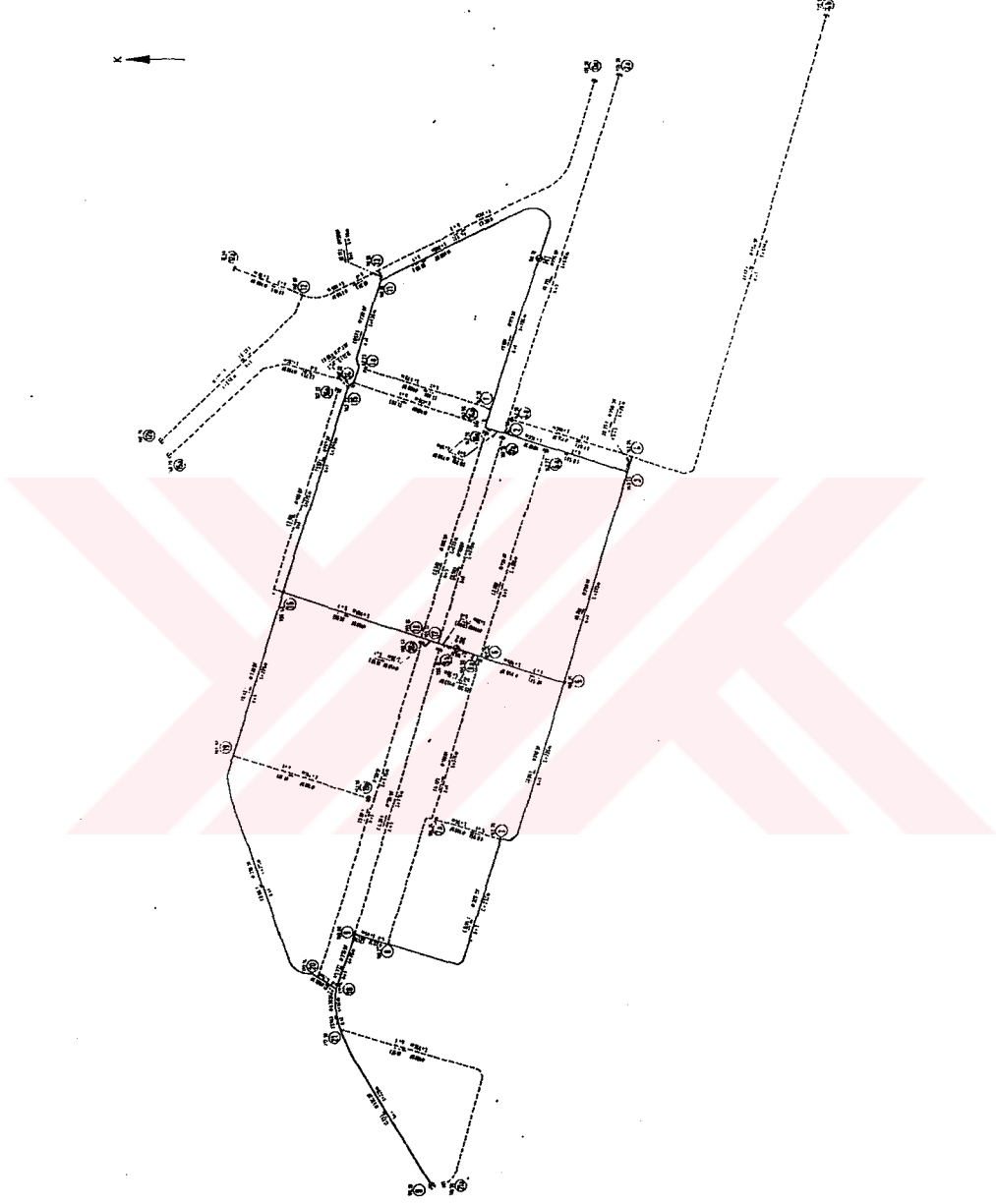
$$q = Q_1 / \sum L_i$$

$$q = 143.60 / 87.84$$

$$q = 0.01634 \text{ lt/sm dir.}$$

5.2. Uygulama Alanının Değişik Yöntemler Yardımı ile Çözümü

5.2.1. Ölü Nokta Metodu ile Çözüm



Şekil 5.1 - Genel Vaziyet Planı

| BORU NO | | BOYLAR | | | SARFIYATLAR | | |
|------------|------|--------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|------|
| | | L | Yoğ. kat. k | İzafi boy k*L | Metrede debi q | Boruda debi p=q*L | 055P |
| | | m | ad | m | lt/s/m | lt/s | lt/s |
| 1 | -M1 | 194 | 1 | 194 | 0.01634 | 3.17 | 1.74 |
| 1 | -1a | 170 | 1 | 170 | 0.01634 | 2.78 | 1.53 |
| 2 | -1 | 50 | 1 | 50 | 0.01634 | 0.82 | 0.45 |
| 2 | -2a | 470 | 1 | 470 | 0.01634 | 7.68 | 4.23 |
| 3 | -2 | 160 | 1 | 160 | 0.01634 | 2.62 | 1.44 |
| 4 | -4a | 160 | 1 | 160 | 0.01634 | 2.62 | 1.44 |
| 4 | -4b | 665 | 1 | 665 | 0.01634 | 10.87 | 5.98 |
| 3 | -4 | 20 | 1 | 20 | 0.01634 | 0.33 | 0.18 |
| 5 | -3 | 270 | 1 | 270 | 0.01634 | 4.41 | 2.43 |
| 6 | -M2 | 30 | 1 | 30 | 0.01634 | 4.49 | 0.27 |
| 6 | -6a | 270 | 1 | 270 | 0.01634 | 4.41 | 2.43 |
| 5 | -6 | 105 | 1 | 105 | 0.01634 | 1.72 | 0.94 |
| 7 | -5 | 220 | 1 | 220 | 0.01634 | 3.60 | 1.98 |
| 7 | -7a | 90 | 1 | 90 | 0.01634 | 1.47 | 0.81 |
| 8 | -7 | 260 | 1 | 260 | 0.01634 | 4.27 | 2.34 |
| 8 | -8a | 375 | 1 | 375 | 0.01634 | 6.13 | 3.37 |
| 9 | -8 | 45 | 1 | 45 | 0.01634 | 0.74 | 0.40 |
| 9 | -9a | 370 | 1 | 370 | 0.01634 | 6.05 | 3.33 |
| 10 | -9 | 70 | 1 | 70 | 0.01634 | 1.14 | 0.63 |
| 11 | -M1 | 280 | 1 | 280 | 0.01634 | 4.58 | 2.52 |
| 12 | -12a | 90 | 1 | 90 | 0.01634 | 1.47 | 0.81 |
| 12 | -12b | 250 | 1 | 250 | 0.01634 | 4.09 | 2.25 |
| 13 | -12 | 105 | 1 | 105 | 0.01634 | 1.72 | 0.94 |
| 13 | -13a | 380 | 1 | 380 | 0.01634 | 6.21 | 3.42 |
| 11 | -13 | 15 | 1 | 15 | 0.01634 | 0.25 | 0.13 |
| 14 | -11 | 135 | 1 | 135 | 0.01634 | 2.21 | 1.21 |
| 14 | -14a | 170 | 1 | 170 | 0.01634 | 2.78 | 1.53 |
| 15 | -14 | 10 | 1 | 10 | 0.01634 | 0.16 | 0.09 |
| 15 | -15a | 280 | 1 | 280 | 0.01634 | 4.58 | 2.52 |
| 16 | -15 | 265 | 1 | 265 | 0.01634 | 4.33 | 2.38 |
| 16 | -16a | 270 | 1 | 270 | 0.01634 | 4.41 | 2.43 |
| 17 | -M2 | 20 | 1 | 20 | 0.01634 | 0.33 | 0.18 |
| 17 | -17a | 270 | 1 | 270 | 0.01634 | 4.41 | 2.43 |
| 18 | -17 | 25 | 1 | 25 | 0.01634 | 0.41 | 0.22 |
| 18 | -18a | 270 | 1 | 270 | 0.01634 | 4.41 | 2.43 |
| 16 | -18 | 180 | 1 | 180 | 0.01634 | 2.94 | 1.62 |
| 19 | -16 | 205 | 1 | 205 | 0.01634 | 3.35 | 1.84 |
| 19 | -19a | 180 | 1 | 180 | 0.01634 | 2.94 | 1.62 |
| 20 | -19 | 310 | 1 | 310 | 0.01634 | 5.07 | 2.79 |
| 20 | -20a | 435 | 1 | 435 | 0.01634 | 7.11 | 3.91 |
| 10 | -20 | 25 | 1 | 25 | 0.01634 | 0.41 | 0.22 |
| 21 | -10 | 50 | 1 | 50 | 0.01634 | 0.81 | 0.45 |
| 21 | -21a | 350 | 1 | 350 | 0.01634 | 5.72 | 3.15 |
| B | -21 | 220 | 1 | 220 | 0.01634 | 3.60 | 1.98 |
| TOPLAM | | 8784 | | | | | |

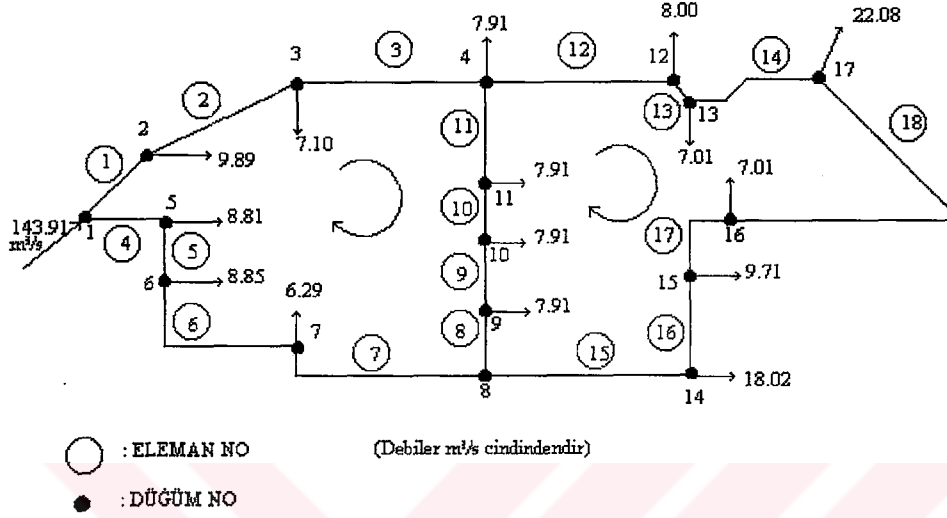
| BORU NO | | SARFIYATLAR | | | | | BORU |
|------------|------|-----------------------|--------------------------|----------------|---------------------------|-------------|----------|
| | | Uç sarfiyatı Qo | Baş sarfiyatı Qo+P | QL Qo+0555P | Yangın sarfiyatı Qy | QH QL+Qy | J |
| | | lt/s | lt/s | lt/s | lt/s | lt/s | m/m |
| 1 | -M1 | 0.00 | 3.17 | 1.74 | 10 | 11.74 | 0.003095 |
| 1 | -1a | 0.00 | 2.78 | 1.53 | 5 | 6.53 | 0.007518 |
| 2 | -1 | 5.95 | 6.77 | 6.40 | 10 | 16.40 | 0.005745 |
| 2 | -2a | 0.00 | 7.68 | 4.23 | 5 | 9.23 | 0.014263 |
| 3 | -2 | 14.45 | 17.07 | 15.89 | 10 | 25.89 | 0.003296 |
| 4 | -4a | 0.00 | 2.62 | 1.44 | 5 | 6.44 | 0.007327 |
| 4 | -4b | 0.00 | 10.87 | 5.98 | 5 | 10.98 | 0.002732 |
| 3 | -4 | 13.49 | 13.81 | 13.67 | 5 | 18.67 | 0.007301 |
| 5 | -3 | 30.88 | 35.30 | 33.31 | 10 | 43.31 | 0.002882 |
| 6 | -M2 | 0.00 | 0.49 | 0.27 | 10 | 10.27 | 0.002414 |
| 6 | -6a | 0.00 | 4.41 | 2.43 | 5 | 7.43 | 0.009457 |
| 5 | -6 | 4.90 | 6.62 | 5.85 | 10 | 15.85 | 0.005392 |
| 7 | -5 | 41.94 | 45.51 | 43.89 | 10 | 53.89 | 0.004321 |
| 7 | -7a | 0.00 | 1.47 | 0.81 | 5 | 5.81 | 0.006056 |
| 8 | -7 | 6.98 | 51.23 | 49.32 | 10 | 59.32 | 0.002124 |
| 8 | -8a | 0.00 | 6.13 | 3.37 | 5 | 8.37 | 0.011915 |
| 9 | -8 | 57.36 | 58.10 | 57.77 | 10 | 67.77 | 0.002718 |
| 9 | -9a | 0.00 | 6.05 | 3.33 | 5 | 8.33 | 0.011796 |
| 10 | -9 | 64.15 | 65.29 | 64.78 | 10 | 74.78 | 0.003261 |
| 11 | -M1 | 0.00 | 4.58 | 2.52 | 10 | 12.52 | 0.003483 |
| 12 | -12a | 0.00 | 1.47 | 0.81 | 5 | 5.81 | 0.006056 |
| 12 | -12b | 0.00 | 4.09 | 2.25 | 5 | 7.25 | 0.009123 |
| 13 | -12 | 5.56 | 7.27 | 6.50 | 5 | 11.50 | 0.002978 |
| 13 | -13a | 0.00 | 6.21 | 3.42 | 5 | 8.42 | 0.012033 |
| 11 | -13 | 13.49 | 13.73 | 13.62 | 5 | 18.62 | 0.007268 |
| 14 | -11 | 18.31 | 20.52 | 19.52 | 10 | 29.52 | 0.004203 |
| 14 | -14a | 0.00 | 2.78 | 1.53 | 5 | 6.53 | 0.007518 |
| 15 | -14 | 23.30 | 23.46 | 23.39 | 10 | 33.39 | 0.005278 |
| 15 | -15a | 0.00 | 4.58 | 2.52 | 5 | 7.52 | 0.009762 |
| 16 | -15 | 28.04 | 32.37 | 30.42 | 10 | 40.42 | 0.002536 |
| 16 | -16a | 0.00 | 4.41 | 2.43 | 5 | 7.43 | 0.009547 |
| 17 | -M2 | 0.00 | 5.15 | 0.18 | 10 | 10.18 | 0.002375 |
| 17 | -17a | 0.00 | 4.41 | 2.43 | 5 | 7.43 | 0.009547 |
| 18 | -17 | 4.74 | 5.15 | 4.97 | 10 | 14.97 | 0.004849 |
| 18 | -18a | 0.00 | 4.41 | 2.43 | 5 | 7.43 | 0.009547 |
| 16 | -18 | 9.56 | 12.51 | 11.18 | 10 | 21.18 | 0.009226 |
| 19 | -16 | 49.29 | 52.64 | 51.13 | 10 | 61.13 | 0.002245 |
| 19 | -19a | 0.00 | 2.94 | 1.62 | 5 | 6.62 | 0.007710 |
| 20 | -19 | 55.58 | 60.65 | 58.37 | 10 | 68.37 | 0.002763 |
| 20 | -20a | 0.00 | 7.11 | 3.91 | 5 | 8.91 | 0.013375 |
| 10 | -20 | 67.76 | 68.17 | 67.99 | 10 | 77.99 | 0.003525 |
| 21 | -10 | 133.46 | 134.28 | 133.91 | 10 | 143.91 | 0.002700 |
| 21 | -21a | 0.00 | 5.72 | 3.15 | 5 | 8.15 | 0.011329 |
| B | -21 | 140.00 | 143.60 | 141.98 | 10 | 151.98 | 0.001008 |
| TOPLAM | 8784 | | | | | | |

| BORU NO | | BORU | | | PIYEZOMETRE ve ZEMİN KOTLARI | | |
|------------|------|------|------|------|------------------------------|--------|--------|
| | | D | L*J | V | Menbağ | | Mansap |
| | | mm | m | m/s | Z+P/W | Z | Z+P/W |
| 1 | -M1 | 150 | 0.60 | 0.66 | 202.20 | 147.00 | 201.60 |
| 1 | -1a | 100 | 1.28 | 0.83 | 202.20 | 147.00 | 202.92 |
| 2 | -1 | 150 | 0.29 | 0.93 | 202.48 | 147.00 | 202.20 |
| 2 | -2a | 100 | 6.70 | 1.17 | 202.48 | 147.00 | 195.78 |
| 3 | -2 | 200 | 0.53 | 0.82 | 203.01 | 149.06 | 202.48 |
| 4 | -4a | 100 | 1.17 | 0.82 | 202.87 | 149.06 | 201.69 |
| 4 | -4b | 150 | 1.82 | 0.62 | 202.87 | 149.06 | 201.05 |
| 3 | -4 | 150 | 0.15 | 1.06 | 203.01 | 149.06 | 202.87 |
| 5 | -3 | 250 | 0.78 | 0.88 | 203.79 | 158.21 | 203.01 |
| 6 | -M2 | 150 | 0.07 | 0.58 | 203.22 | 155.03 | 203.15 |
| 6 | -6a | 100 | 2.58 | 0.94 | 203.22 | 155.03 | 200.65 |
| 5 | -6 | 150 | 0.57 | 0.90 | 203.79 | 158.21 | 203.22 |
| 7 | -5 | 250 | 0.95 | 1.10 | 204.74 | 163.78 | 203.79 |
| 7 | -7a | 100 | 0.55 | 0.74 | 207.74 | 163.78 | 204.20 |
| 8 | -7 | 300 | 0.55 | 0.84 | 205.29 | 169.37 | 204.74 |
| 8 | -8a | 100 | 4.47 | 1.06 | 205.29 | 169.37 | 200.82 |
| 9 | -8 | 300 | 0.12 | 0.96 | 205.42 | 168.80 | 205.29 |
| 9 | -9a | 100 | 4.36 | 1.06 | 205.42 | 168.80 | 201.05 |
| 10 | -9 | 300 | 0.23 | 1.06 | 205.64 | 171.14 | 205.42 |
| 11 | -M1 | 150 | 0.98 | 0.71 | 202.95 | 141.50 | 201.97 |
| 12 | -12a | 100 | 0.55 | 0.74 | 202.52 | 140.00 | 201.98 |
| 12 | -12b | 100 | 2.28 | 0.92 | 202.52 | 140.00 | 200.24 |
| 13 | -12 | 150 | 0.31 | 0.65 | 202.84 | 141.50 | 202.52 |
| 13 | -13a | 100 | 4.57 | 1.07 | 202.84 | 141.50 | 198.26 |
| 11 | -13 | 150 | 0.11 | 1.05 | 202.95 | 141.50 | 202.84 |
| 14 | -11 | 200 | 0.57 | 0.94 | 203.51 | 147.22 | 202.95 |
| 14 | -14a | 100 | 1.28 | 0.83 | 203.51 | 147.22 | 202.24 |
| 15 | -14 | 200 | 0.05 | 1.06 | 203.57 | 147.22 | 203.51 |
| 15 | -15a | 100 | 2.73 | 0.96 | 203.57 | 147.22 | 200.83 |
| 16 | -15 | 250 | 0.67 | 0.82 | 204.24 | 155.49 | 203.57 |
| 16 | -16a | 100 | 2.58 | 0.94 | 204.24 | 155.49 | 201.66 |
| 17 | -M2 | 150 | 0.05 | 0.58 | 202.46 | 155.41 | 202.41 |
| 17 | -17a | 100 | 2.58 | 0.94 | 202.46 | 155.41 | 199.88 |
| 18 | -17 | 150 | 0.12 | 0.85 | 202.58 | 155.41 | 202.46 |
| 18 | -18a | 100 | 2.58 | 0.94 | 202.58 | 155.41 | 200.00 |
| 16 | -18 | 150 | 1.66 | 1.20 | 204.24 | 155.49 | 202.58 |
| 19 | -16 | 300 | 0.46 | 0.86 | 204.70 | 161.67 | 204.24 |
| 19 | -19a | 100 | 1.39 | 0.84 | 204.70 | 161.67 | 203.31 |
| 20 | -19 | 300 | 0.86 | 0.97 | 205.56 | 170.14 | 204.70 |
| 20 | -20a | 100 | 5.82 | 1.13 | 205.56 | 170.14 | 199.74 |
| 10 | -20 | 300 | 0.09 | 1.10 | 205.64 | 171.14 | 205.56 |
| 21 | -10 | 400 | 0.14 | 1.14 | 205.78 | 172.56 | 205.64 |
| 21 | -21a | 100 | 3.97 | 1.04 | 205.78 | 172.56 | 201.81 |
| B | -21 | 500 | 0.22 | 0.77 | 206.00 | 176.00 | 205.78 |
| TOPLAM | 8784 | | | | | | |

| BORU NO | | P.Z.Kot. | BASINÇLAR | | DÜŞÜNCELER |
|------------|------|----------|-----------|--------|----------------------------|
| | | | Z | Menbağ | |
| | | m | | m | m |
| 1 | -M1 | 145.70 | 55.20 | 55.90 | |
| 1 | -1a | 147.22 | 55.20 | 53.70 | |
| 2 | -1 | 147.00 | 55.48 | 55.20 | |
| 2 | -2a | 126.00 | 55.48 | 69.78 | |
| 3 | -2 | 147.00 | 53.95 | 55.48 | |
| 4 | -4a | 147.00 | 53.81 | 54.69 | |
| 4 | -4b | 130.00 | 53.81 | 71.05 | |
| 3 | -4 | 149.06 | 53.95 | 53.81 | |
| 5 | -3 | 149.06 | 45.58 | 53.95 | |
| 6 | -M2 | 155.21 | 48.19 | 47.94 | |
| 6 | -6a | 147.77 | 48.19 | 52.88 | |
| 5 | -6 | 155.03 | 45.58 | 48.19 | |
| 7 | -5 | 158.21 | 40.96 | 45.58 | |
| 7 | -7a | 164.24 | 40.96 | 39.96 | |
| 8 | -7 | 163.78 | 35.92 | 40.96 | |
| 8 | -8a | 155.03 | 35.92 | 45.79 | |
| 9 | -8 | 169.37 | 36.62 | 35.92 | 1.Göz(M1) |
| 9 | -9a | 155.41 | 36.62 | 45.64 | |
| 10 | -9 | 168.80 | 34.50 | 36.62 | $\Delta H1=56.27-55.90$ |
| 11 | -M1 | 145.70 | 61.45 | 56.27 | $\Delta H1=0.37 < 1$ uygun |
| 12 | -12a | 130.46 | 62.52 | 71.52 | |
| 12 | -12b | 149.79 | 62.52 | 50.45 | |
| 13 | -12 | 140.00 | 61.34 | 62.52 | 2.Göz(M2) |
| 13 | -13a | 126.00 | 61.34 | 72.26 | $\Delta H2=47.94-47.20$ |
| 11 | -13 | 141.50 | 61.45 | 61.34 | $\Delta H2=0.74 < 1$ uygun |
| 14 | -11 | 141.50 | 56.29 | 61.45 | |
| 14 | -14a | 147.00 | 56.29 | 55.24 | |
| 15 | -14 | 147.22 | 56.35 | 56.29 | |
| 15 | -15a | 149.79 | 56.35 | 51.04 | |
| 16 | -15 | 147.22 | 48.75 | 56.35 | |
| 16 | -16a | 147.22 | 48.75 | 54.44 | |
| 17 | -M2 | 155.21 | 47.05 | 47.20 | |
| 17 | -17a | 147.00 | 47.05 | 52.88 | |
| 18 | -17 | 155.41 | 47.17 | 47.05 | |
| 18 | -18a | 147.00 | 47.17 | 53.00 | |
| 16 | -18 | 155.41 | 48.75 | 47.17 | |
| 19 | -16 | 155.49 | 43.03 | 48.75 | |
| 19 | -19a | 163.50 | 43.03 | 39.81 | |
| 20 | -19 | 161.67 | 35.42 | 43.03 | |
| 20 | -20a | 155.41 | 35.42 | 44.33 | |
| 10 | -20 | 170.14 | 34.50 | 35.42 | |
| 21 | -10 | 171.14 | 33.22 | 34.50 | |
| 21 | -21a | 176.00 | 33.22 | 25.81 | |
| B | -21 | 172.56 | 30.00 | 33.22 | |
| TOPLAM | 8784 | | | | |

5.2.2. Hardy Cross Metodu ile Çözüm

Şekil 5.2 - Genel Vaziyet Planı



| Eleman No | L (m) | D (m) | C | Eleman Dağıtma Debileri |
|-----------|-------|-------|-----|-------------------------|
| 1 | 25 | 0.3 | 140 | 115.45 |
| 2 | 310 | 0.3 | 140 | 106.06 |
| 3 | 205 | 0.3 | 140 | 98.96 |
| 4 | 70 | 0.3 | 140 | 28.46 |
| 5 | 45 | 0.3 | 140 | 19.65 |
| 6 | 260 | 0.3 | 140 | 10.80 |
| 7 | 220 | 0.25 | 140 | 4.51 |
| 8 | 105 | 0.15 | 140 | 4.50 |
| 9 | 50 | 0.15 | 140 | 12.41 |
| 10 | 20 | 0.15 | 140 | 20.32 |
| 11 | 180 | 0.15 | 140 | 28.23 |
| 12 | 265 | 0.25 | 140 | 62.82 |
| 13 | 10 | 0.20 | 140 | 54.82 |
| 14 | 135 | 0.20 | 140 | 47.81 |
| 15 | 270 | 0.25 | 140 | 9.01 |
| 16 | 160 | 0.20 | 140 | 9.01 |
| 17 | 50 | 0.15 | 140 | 18.72 |
| 18 | 474 | 0.15 | 140 | 25.73 |

N1=SEBEKEDEKI TOPLAM BORU SAYISI'ni GIRINIZ ? 18
 N2=SEBEKEDEKI TOPLAM GOZ SAYISI'ni GIRNIZ ? 2

L=BORU UZUNLUGU * D=BORU CAPI* C=PURUZLULUK *Q=BASLANGIC DEBIS

| | |
|------------------|----------|
| 1 . BORU ICIN L= | ? 25 |
| 1 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 1 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 1 . BORU ICIN Q= | ? 115.45 |
| 2 . BORU ICIN L= | ? 310 |
| 2 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 2 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 2 . BORU ICIN Q= | ? 106.06 |
| 3 . BORU ICIN L= | ? 205 |
| 3 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 3 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 3 . BORU ICIN Q= | ? 98.96 |
| 4 . BORU ICIN L= | ? 70 |
| 4 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 4 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 4 . BORU ICIN Q= | ? 28.46 |
| 5 . BORU ICIN L= | ? 45 |
| 5 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 5 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 5 . BORU ICIN Q= | ? 19.65 |
| 6 . BORU ICIN L= | ? 260 |
| 6 . BORU ICIN D= | ? 0.3 |
| 6 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 6 . BORU ICIN Q= | ? 10.8 |
| 7 . BORU ICIN L= | ? 220 |
| 7 . BORU ICIN D= | ? 0.25 |
| 7 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 7 . BORU ICIN Q= | ? 4.51 |
| 8 . BORU ICIN L= | ? 105 |
| 8 . BORU ICIN D= | ? 0.15 |
| 8 . BORU ICIN C= | ? 140 |
| 8 . BORU ICIN Q= | ? 4.50 |
| 9 . BORU ICIN L= | ? 50 |
| 9 . BORU ICIN D= | ? 0.15 |
| 9 . BORU ICIN C= | ? 140 |

9 . BORU ICIN Q= ? 12.41
10 . BORU ICIN L= ? 20
10 . BORU ICIN D= ? 0.15
10 . BORU ICIN C= ? 140
10 . BORU ICIN Q= ? 20.32
11 . BORU ICIN L= ? 180
11 . BORU ICIN D= ? 0.15
11 . BORU ICIN C= ? 140
11 . BORU ICIN Q= ? 28.23
12 . BORU ICIN L= ? 265
12 . BORU ICIN D= ? 0.25
12 . BORU ICIN C= ? 140
12 . BORU ICIN Q= ? 62.82
13 . BORU ICIN L= ? 10
13 . BORU ICIN D= ? 0.20
13 . BORU ICIN C= ? 140
13 . BORU ICIN Q= ? 54.82
14 . BORU ICIN L= ? 135
14 . BORU ICIN D= ? 0.20
14 . BORU ICIN C= ? 140
14 . BORU ICIN Q= ? 47.81
15 . BORU ICIN L= ? 270
15 . BORU ICIN D= ? 0.25
15 . BORU ICIN C= ? 140
15 . BORU ICIN Q= ? 9.01
16 . BORU ICIN L= ? 160
16 . BORU ICIN D= ? 0.20
16 . BORU ICIN C= ? 140
16 . BORU ICIN Q= ? 9.01
17 . BORU ICIN L= ? 50
17 . BORU ICIN D= ? 0.15
17 . BORU ICIN C= ? 140
17 . BORU ICIN Q= ? 18.72
18 . BORU ICIN L= ? 474
18 . BORU ICIN D= ? 0.15
18 . BORU ICIN C= ? 140
18 . BORU ICIN Q= ? 25.73

SEBEKE PROBLEMLERININ COZUM PROGRAMI

BASLIK? Hardy Cross Metodu ile Cozumleme

ITERASYON SAYISI ? 10

DUZELTME (TOLERANS) DEBISI ? 0.01

VERILERINIZDE HATA VAR MI (E/H) ? h

SONUCLARI EKRANDAN ISTIYORSANIZ '1'; YAZICIDAN ISTIYORSANIZ '0'
; 0

N2=TOPLAM GOZ SAYISINI GIRINIZ ? 2

TUSUNA BASINIZ

I=SEBEKEDEKI MAX. GOZ SAYISI ** J=HERHANGI BIR GOZDEKI MAX.BORU
OLMAK UZERE

SAYISI

I VE J 'yi GIRINIZ * 2,3 * GIBI ? 2,11

2 . GOZ ICIN ISLEM

2 .GOZDEKI BORU SAYISI=N(I) GIRINIZ ? 11

A(2 , 1) GIRINIZ ? 12
A(2 , 2) GIRINIZ ? 13
A(2 , 3) GIRINIZ ? 14
A(2 , 4) GIRINIZ ? -11
A(2 , 5) GIRINIZ ? -10
A(2 , 6) GIRINIZ ? -9
A(2 , 7) GIRINIZ ? -8
A(2 , 8) GIRINIZ ? -15
A(2 , 9) GIRINIZ ? 16
A(2 , 10) GIRINIZ ? 17
A(2 , 11) GIRINIZ ? 18

1 . GOZ ICIN ISLEM

1 .GOZDEKI BORU SAYISI=N(I) GIRINIZ ? 11

A(1 , 1) GIRINIZ ? 1
A(1 , 2) GIRINIZ ? 2
A(1 , 3) GIRINIZ ? 3
A(1 , 4) GIRINIZ ? 11
A(1 , 5) GIRINIZ ? 10
A(1 , 6) GIRINIZ ? 9
A(1 , 7) GIRINIZ ? 8
A(1 , 8) GIRINIZ ? -4
A(1 , 9) GIRINIZ ? -5
A(1 , 10) GIRINIZ ? -6
A(1 , 11) GIRINIZ ? -7

SEBEKE PROBLEMLERİNİN COZUMU

=====

BASLIK :Hardy Cross Metodu ile Cozumleme

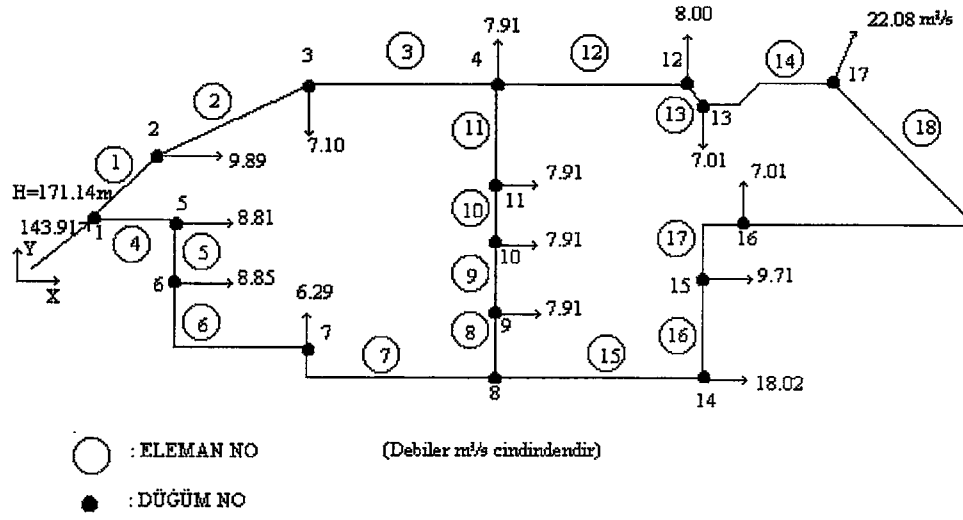
| BORU NO ; | DEBI (m**3/s) |
|-----------|------------------|
| 1 | 73.7673 |
| 2 | 64.3773 |
| 3 | 57.2773 |
| 4 | 70.14269 |
| 5 | 61.3327 |
| 6 | 52.4827 |
| 7 | 46.1927 |
| 8 | -11.98174 |
| 9 | -4.071739 |
| 10 | 3.83826 |
| 11 | 11.74826 |
| 12 | 37.61903 |
| 13 | 29.61904 |
| 14 | 22.60904 |
| 15 | 34.21096 |
| 16 | -16.19096 |
| 17 | -6.480965 |
| 18 | .5290352 |

SONUC DUZELTME DEBISI= 9.51567E-03

ITERASYON SAYISI= 9

NOT : Negatif debi çıkması akış yönünün ters alındığını gösterir.

5.2.3. Lineer Metot ile Çözüm



Şekil 5.3 - Genel Vaziyet Planı

INTERNAL DATA

NUMBER OF NODES : 17
 NUMBER OF ELEMENTS : 18
 NUMBER OF NODES WITH KNOWN DISCHARGE: 17
 NUMBER OF NODES WITH KNOWN HEAD: 1
 VALUE OF DENSITY*GRAVITY ACC./VISCOSITY: 10000000.00

NODAL COORDINATES

| NODE | X | Y |
|------|--------|--------|
| 1 | 0.00 | 155.00 |
| 1 | 0.00 | 155.00 |
| 2 | 0.00 | 180.00 |
| 2 | 0.00 | 180.00 |
| 3 | 240.00 | 360.00 |
| 3 | 240.00 | 360.00 |
| 4 | 450.00 | 360.00 |
| 4 | 450.00 | 360.00 |
| 5 | 70.00 | 155.00 |
| 5 | 70.00 | 155.00 |
| 6 | 70.00 | 110.00 |
| 6 | 70.00 | 110.00 |
| 7 | 240.00 | 20.00 |
| 7 | 240.00 | 20.00 |
| 8 | 450.00 | 0.00 |
| 8 | 450.00 | 0.00 |
| 9 | 450.00 | 105.00 |
| 9 | 450.00 | 105.00 |
| 10 | 450.00 | 155.00 |
| 10 | 450.00 | 155.00 |
| 11 | 450.00 | 175.00 |
| 11 | 450.00 | 175.00 |
| 12 | 715.00 | 360.00 |
| 12 | 715.00 | 360.00 |
| 13 | 725.00 | 360.00 |
| 13 | 725.00 | 360.00 |
| 14 | 725.00 | 0.00 |
| 14 | 725.00 | 0.00 |
| 15 | 725.00 | 160.00 |
| 15 | 725.00 | 160.00 |
| 16 | 775.00 | 160.00 |
| 16 | 775.00 | 160.00 |
| 17 | 860.00 | 360.00 |
| 17 | 860.00 | 360.00 |

ELEMENT CONNECTIVITY AND DIAMETER

| ELEMENT | START NODE | END NODE | DIAMETER |
|---------|------------|----------|----------|
| 1 | 1 | 2 | 0.30 |
| 1 | 1 | 2 | 0.30000 |
| 2 | 2 | 3 | 0.30 |
| 2 | 2 | 3 | 0.30000 |
| 3 | 3 | 4 | 0.30 |
| 3 | 3 | 4 | 0.30000 |
| 4 | 1 | 5 | 0.30 |
| 4 | 1 | 5 | 0.30000 |
| 5 | 5 | 6 | 0.30 |
| 5 | 5 | 6 | 0.30000 |
| 6 | 6 | 7 | 0.30 |
| 6 | 6 | 7 | 0.30000 |
| 7 | 7 | 8 | 0.25 |
| 7 | 7 | 8 | 0.25000 |
| 8 | 9 | 8 | 0.15 |
| 8 | 9 | 8 | 0.15000 |
| 9 | 10 | 9 | 0.15 |
| 9 | 10 | 9 | 0.15000 |
| 10 | 11 | 10 | 0.15 |
| 10 | 11 | 10 | 0.15000 |
| 11 | 4 | 11 | 0.15 |
| 11 | 4 | 11 | 0.15000 |
| 12 | 4 | 12 | 0.25 |
| 12 | 4 | 12 | 0.25000 |
| 13 | 12 | 13 | 0.20 |
| 13 | 12 | 13 | 0.20000 |
| 14 | 13 | 17 | 0.20 |
| 14 | 13 | 17 | 0.20000 |
| 15 | 8 | 14 | 0.25 |
| 15 | 8 | 14 | 0.25000 |
| 16 | 15 | 14 | 0.20 |
| 16 | 15 | 14 | 0.20000 |
| 17 | 16 | 15 | 0.15 |
| 17 | 16 | 15 | 0.15000 |
| 18 | 17 | 16 | 0.15 |
| 18 | 17 | 16 | 0.15000 |

HALF-BANDWIDTH IS EQUAL TO 9 ----

NODAL DISCHARGES

| NODE | VALUE |
|------|----------|
| 1 | 143.91 |
| 1 | 143.9100 |
| 2 | -9.39 |
| 2 | -9.3900 |
| 3 | -7.10 |
| 3 | -7.1000 |
| 4 | -7.91 |
| 4 | -7.9100 |
| 5 | -8.81 |
| 5 | -8.8100 |
| 6 | -8.85 |
| 6 | -8.8500 |
| 7 | -6.29 |
| 7 | -6.2900 |
| 8 | 0.00 |
| 8 | 0.0000 |
| 9 | -7.91 |
| 9 | -7.9100 |
| 10 | -7.91 |
| 10 | -7.9100 |
| 11 | -7.91 |
| 11 | -7.9100 |
| 12 | -8.00 |
| 12 | -8.0000 |
| 13 | -7.01 |
| 13 | -7.0100 |
| 14 | -18.02 |
| 14 | -18.0200 |
| 15 | -9.71 |
| 15 | -9.7100 |
| 16 | -7.01 |
| 16 | -7.0100 |
| 17 | -22.08 |
| 17 | -22.0800 |

BOUNDARY CONDITION DATA

| NODE | PRESCRIBED VALUES |
|------|-------------------|
| 1 | 171.14 |

RESULTS

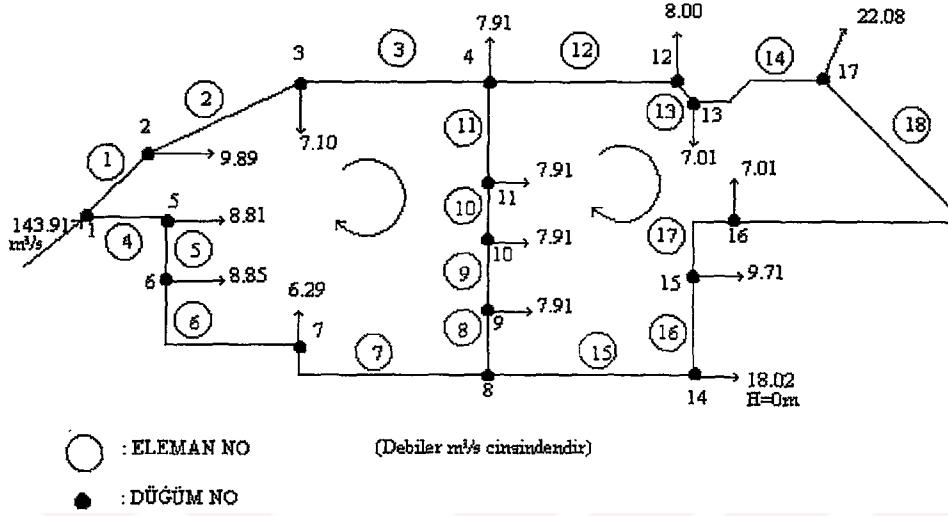
NODAL HEADS

| NODE | HEAD |
|------|----------|
| 1 | 171.1400 |
| 2 | 170.2205 |
| 3 | 160.6033 |
| 4 | 154.6213 |
| 5 | 168.6475 |
| 6 | 167.2446 |
| 7 | 162.1042 |
| 8 | 151.7983 |
| 9 | 140.6455 |
| 10 | 138.5177 |
| 11 | 138.9398 |
| 12 | 144.0656 |
| 13 | 143.2969 |
| 14 | 142.1490 |
| 15 | 135.7845 |
| 16 | 133.4060 |
| 17 | 135.3285 |

NODAL DISCHARGES

| NODE | DISCHARGE | MEMBER | DISCHARGE |
|------|-----------|--------|-----------|
| 1 | 143.9102 | 1 | 73.1223 |
| 2 | -9.3911 | 2 | 63.7312 |
| 3 | -7.1000 | 3 | 56.6312 |
| 4 | -7.9099 | 4 | 70.7879 |
| 5 | -8.8092 | 5 | 61.9787 |
| 6 | -8.8503 | 6 | 53.1284 |
| 7 | -6.2899 | 7 | 46.8385 |
| 8 | 0.0001 | 8 | -13.1978 |
| 9 | -7.9100 | 9 | -5.2878 |
| 10 | -7.9101 | 10 | 2.6223 |
| 11 | -7.9100 | 11 | 10.5323 |
| 12 | -7.9995 | 12 | 38.1890 |
| 13 | -7.0103 | 13 | 30.1895 |
| 14 | -18.0200 | 14 | 23.1792 |
| 15 | -9.7100 | 15 | 33.6408 |
| 16 | -7.0100 | 16 | -15.6208 |
| 17 | -22.0800 | 17 | -5.9108 |
| | | 18 | 1.0992 |

5.2.4. Nonlinear Metot ile Çözüm



INTERNAL DATA

NUMBER OF NODES : 17
NUMBER OF ELEMENTS : 18
NUMBER OF NODES WITH KNOWN DISCHARGE: 17
NUMBER OF NODES WITH KNOWN HEAD: 1
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS: 20
TOLERANCE: 0.0001000

RELATIVE ROUGHNESS : 110.0000000

NODAL COORDINATES

| NODE | X | Y |
|------|--------|--------|
| 1 | 0.00 | 155.00 |
| 2 | 0.00 | 180.00 |
| 3 | 240.00 | 360.00 |
| 4 | 450.00 | 360.00 |
| 5 | 70.00 | 155.00 |
| 6 | 70.00 | 110.00 |
| 7 | 240.00 | 20.00 |
| 8 | 450.00 | 0.00 |
| 9 | 450.00 | 105.00 |
| 10 | 450.00 | 155.00 |
| 11 | 450.00 | 175.00 |
| 12 | 715.00 | 360.00 |
| 13 | 725.00 | 360.00 |
| 14 | 725.00 | 0.00 |
| 15 | 725.00 | 160.00 |
| 16 | 775.00 | 160.00 |
| 17 | 860.00 | 360.00 |

ELEMENT CONNECTIVITY AND DIAMETER

| ELEMENT | START NODE | END NODE | DIAMETER |
|---------|------------|----------|----------|
| 1 | 1 | 2 | 0.30 |
| 1 | 1 | 2 | 0.30000 |
| 2 | 2 | 3 | 0.30 |
| 2 | 2 | 3 | 0.30000 |
| 3 | 3 | 4 | 0.30 |
| 3 | 3 | 4 | 0.30000 |
| 4 | 1 | 5 | 0.30 |
| 4 | 1 | 5 | 0.30000 |
| 5 | 5 | 6 | 0.30 |
| 5 | 5 | 6 | 0.30000 |
| 6 | 6 | 7 | 0.30 |
| 6 | 6 | 7 | 0.30000 |
| 7 | 7 | 8 | 0.25 |
| 7 | 7 | 8 | 0.25000 |
| 8 | 9 | 8 | 0.15 |
| 8 | 9 | 8 | 0.15000 |
| 9 | 10 | 9 | 0.15 |
| 9 | 10 | 9 | 0.15000 |
| 10 | 11 | 10 | 0.15 |
| 10 | 11 | 10 | 0.15000 |
| 11 | 4 | 11 | 0.15 |
| 11 | 4 | 11 | 0.15000 |
| 12 | 4 | 12 | 0.25 |
| 12 | 4 | 12 | 0.25000 |
| 13 | 12 | 13 | 0.20 |
| 13 | 12 | 13 | 0.20000 |
| 14 | 13 | 17 | 0.20 |
| 14 | 13 | 17 | 0.20000 |
| 15 | 8 | 14 | 0.25 |
| 15 | 8 | 14 | 0.25000 |
| 16 | 15 | 14 | 0.20 |
| 16 | 15 | 14 | 0.20000 |
| 17 | 16 | 15 | 0.15 |
| 17 | 16 | 15 | 0.15000 |
| 18 | 17 | 16 | 0.15 |
| 18 | 17 | 16 | 0.15000 |

---- HALF-BANDWIDTH IS EQUAL TO 9 ----

NODAL DISCHARGES

| NODE | VALUE |
|------|----------|
| 1 | 143.91 |
| 1 | 143.9100 |
| 2 | -9.39 |
| 2 | -9.3900 |
| 3 | -7.10 |
| 3 | -7.1000 |
| 4 | -7.91 |
| 4 | -7.9100 |
| 5 | -8.81 |
| 5 | -8.8100 |
| 6 | -8.85 |
| 6 | -8.8500 |
| 7 | -6.29 |
| 7 | -6.2900 |
| 8 | 0.00 |
| 8 | 0.0000 |
| 9 | -7.91 |
| 9 | -7.9100 |
| 10 | -7.91 |
| 10 | -7.9100 |
| 11 | -7.91 |
| 11 | -7.9100 |
| 12 | -8.00 |
| 12 | -8.0000 |
| 13 | -7.01 |
| 13 | -7.0100 |
| 14 | -18.02 |
| 14 | -18.0200 |
| 15 | -9.71 |
| 15 | -9.7100 |
| 16 | -7.01 |
| 16 | -7.0100 |
| 17 | -22.08 |
| 17 | -22.0800 |

BOUNDARY CONDITION DATA

| NODE | PRESCRIBED VALUES |
|------|-------------------|
| 14 | 0.0000 |
| 14 | 0.0000 |

RESULTS

NODAL HEADS

| NODE | HEAD |
|------|--------------|
| 1 | 1058134.0000 |
| 2 | 1014244.6875 |
| 3 | 606379.8125 |
| 4 | 377090.6875 |
| 5 | 941281.5000 |
| 6 | 882504.0000 |
| 7 | 693483.8750 |
| 8 | 294287.5938 |
| 9 | 89800.0000 |
| 10 | 74710.5859 |
| 11 | 78145.4453 |
| 12 | 51179.0234 |
| 13 | 27863.3223 |
| 14 | 0.0000 |
| 15 | -129757.7969 |
| 16 | -161798.6719 |
| 17 | -161644.6250 |

NODAL DISCHARGES

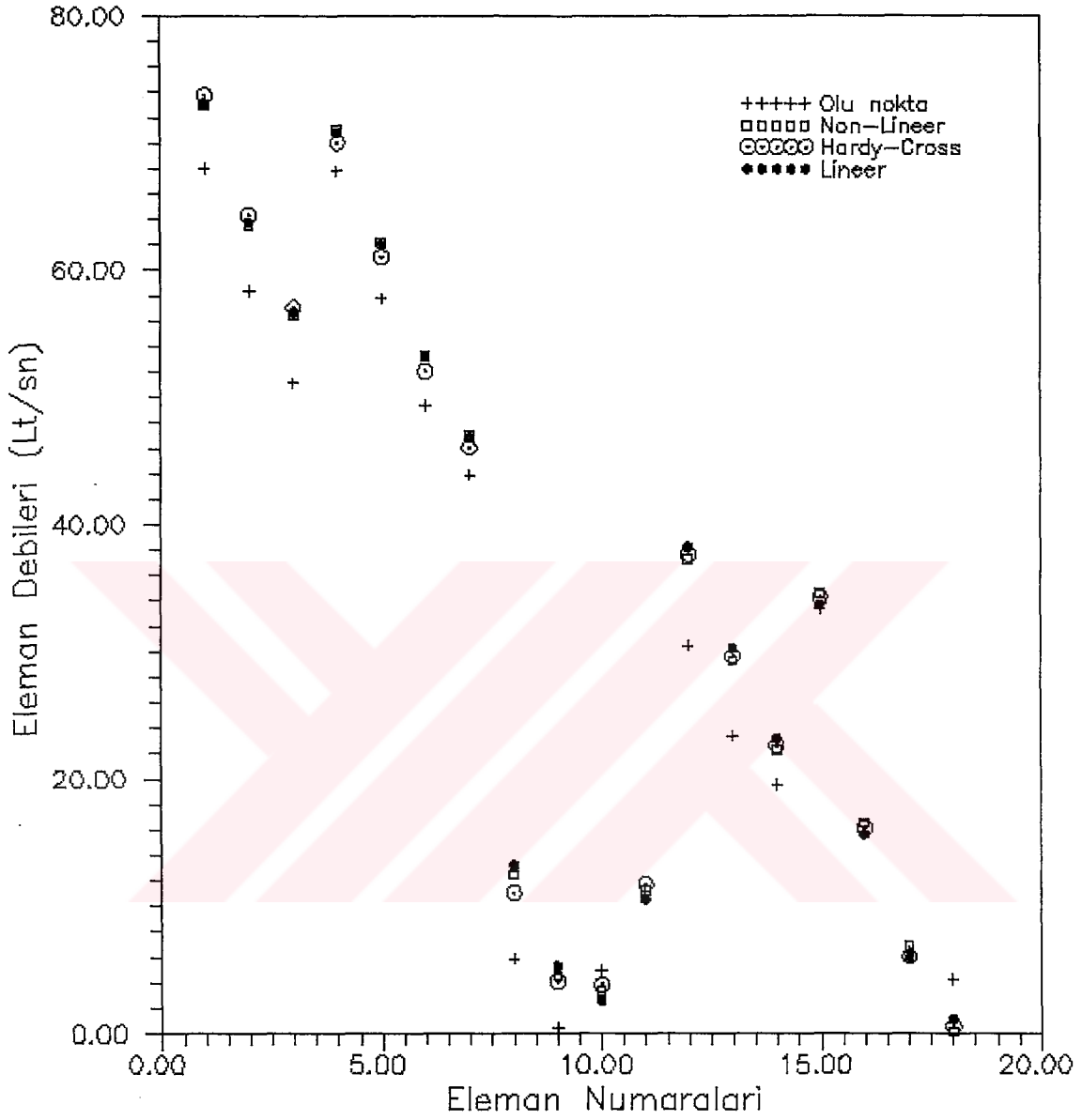
| NODE | DISCHARGE |
|------|-----------|
| 1 | 143.8931 |
| 2 | -9.4031 |
| 3 | -7.0934 |
| 4 | -7.9103 |
| 5 | -8.8052 |
| 6 | -8.8549 |
| 7 | -6.2938 |
| 8 | 0.0029 |
| 9 | -7.9073 |
| 10 | -7.9097 |
| 11 | -7.9074 |
| 12 | -7.9916 |
| 13 | -7.0129 |
| 14 | -18.0135 |
| 15 | -9.7077 |
| 16 | -7.0094 |
| 17 | -22.0758 |

| MEMBER | DISCHARGE |
|--------|-----------|
| 1 | 72.9251 |
| 2 | 63.5220 |
| 3 | 56.4286 |
| 4 | 70.9680 |
| 5 | 62.1627 |
| 6 | 53.3078 |
| 7 | 47.0140 |
| 8 | -12.4595 |
| 9 | -4.5522 |
| 10 | 3.3575 |
| 11 | 11.2649 |
| 12 | 37.2533 |
| 13 | 29.2618 |
| 14 | 22.2489 |
| 15 | 34.5574 |
| 16 | -16.5439 |
| 17 | -6.8363 |
| 18 | 0.1732 |



5.3. Sonuçların Grafıksel Karşılaştırması

| Eleman No (Hardy Cross-Lineer- Nonlineer) | L (m) | Düğüm Noktası (Ölü nokta) | Ölü Nokta Metodu QL |
|---|-------|------------------------------|------------------------|
| 1 | 25 | 10-20 | 67.99 |
| 2 | 310 | 20-19 | 58.37 |
| 3 | 205 | 19-16 | 51.13 |
| 4 | 70 | 10-9 | 67.78 |
| 5 | 45 | 9-8 | 55.77 |
| 6 | 260 | 8-7 | 49.32 |
| 7 | 220 | 7-5 | 43.89 |
| 8 | 105 | 5-6 | 5.85 |
| 9 | 50 | 6-M2,17-M2 | 0.45 |
| 10 | 20 | 18-17 | 4.97 |
| 11 | 180 | 16-18 | 11.18 |
| 12 | 205 | 16-15 | 30.45 |
| 13 | 10 | 15-14 | 23.39 |
| 14 | 135 | 14-11 | 19.52 |
| 15 | 270 | 5-3 | 33.31 |
| 16 | 160 | 3-2 | 15.89 |
| 17 | 50 | 2-1 | 6.4 |
| 18 | 474 | 1-M1,11-M1 | 4.26 |



Şekil 5.5 - Farklı metodlara göre eleman debileri

Şekil 5.5' de ölü nokta, Hardy Cross, Lineer ve nonlinear metodlar yardımıyla örnek şebeke sistemine ait elde edilen, eleman debileri boru numaralarına göre birarada çizilerek karşılaştırılmıştır. Bu şekilde ölü nokta debilerinin diğer metodlardan farklı olduğu görülmüştür, bu da yöntemin, yaklaşık ve kaba bir metod olduğunu göstermektedir. Buna karşılık diğer üç yöntem birbirleri ile son derece uyumlu sonuçlar vermiştir.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1- Su dağıtım şebekelerinin hidrolik analizinde dikkate alınan ifadelerdeki yük kayıplarının nonlinear karaktere sahip olması yakınsama problemine neden olmaktadır, bu şimdiye kadar birçok araştırmacının ele aldığı bir problem olmuştur. Değişik algoritmalar geliştirilerek probleme yaklaşılmıştır, bu çalışmada lineer ve nonlinear yöntemler yardımıyla şebeke analizi dikkate alınmış ve yazılan programlar çalıştırılarak örnek şebeke üzerinde uygulanmış elde edilen sonuçlar ayrıca şimdiye kadar genellikle kullanılan basitleştirilmiş iteratif metod olan Hardy Cross ve ölü nokta metodlarının vermiş olduğu değerlerle karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar karşılaştırıldığında ölü nokta metodunun diğer metodların verdiği sonuçlardan saptığı gözlenmiştir.

2- Lineer ve nonlinear metodların verdiği sonuçların birbirine olan uyumları dikkate alındığında, Hardy Cross metodunun çok büyük ve karmaşık şebekelerin bilgisayar yardımıyla çözümünde daha zahmetli ve vakit aldığı gözlemlenmiştir. Ancak karmaşık şebeke problemlerinin nonlinear çözümünün daha gerçekçi olduğu belirlenmiştir.

3- Bu çalışmada şebekelerin optimum dizaynı ele alınmış ancak sadece dal şebekeler için lineer programlama yoluyla çözüme gidilebilmiştir.

4- Çok fazla su kaybının olduğu ülkemiz su dağıtım şebekelerinin en optimum şekilde boyutlandırılarak borulardan geçmesi gereken en uygun akışların belirlenmesi, ülke ekonomisi açısından çok önemlidir. O halde halen son derece eski ve gayri ekonomik olan ölü nokta metodu yerine günümüzde artık PC'ler yardımıyla uygulanabilen modern ve gerçekçi çözüm yöntemlerinin uygulanması oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- 1) Altan,M.E.; 1985, Lineer Cebir, Mimar Sinan Üniversitesi, Yayın No 13, Matbaa Teknisyenleri Basımevi
- 2) Ayala,G., Ligett J.A.; 1991, Flow in Damaged Pipe Networks, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 117, pp 230-239
- 3) Bouchart,F., Goulter,I.; 1991, Reliability Improvements in Design of Water Distribution Networks Recognizing Value Location, Water Resources Research, vol 27, pp 3029-3040
- 4) Brebbia,C.A., Ferrante,A.; 1983, Computational Hydraulics, Butterworths Publishing,
- 5) Featherstone,R.E., El-Juamily,K.K., 1983, Optimal Diameter Selection For Pipe Networks, Journal of the Hydraulics Division, vol 109, pp 221-234
- 6) Fujiwara,D., Tung,H.D.; 1991, Reliability Improvement for Water Distribution Networks Through Increasing Pipesize ,Water Resources Research, vol 27, pp 1395-1402
- 7) Jowitt,P.W., Xu,C.;1992, Predicting Pipe Failure Effects in Water Distribution Networks, Journal of Water Resources Planning and Management, vol 119, pp 18-31
- 8) Lansey,K.E., Basnet,C.; 1991, Prameter Estimation For Water Distribution Networks, Journal of Water Resources Planning and Management, vol 117, pp 126-144
- 9) Onizuka,K.; 1986, System Dynamics Approach To Pipe Network Analysis Journal of the Hydraulics Engineering, vol 112, pp 728-749
- 10) Ormsbee,L.E., Wood,D.J.; 1986, Explicid Pipe Network Calibration Journal of Water Resources Planing and Management, vol 112, pp 166-182
- 11) Ormsbee,L.E., Wood,D.J.; 1986, Hydraulic Design Algorithms For Pipe Networks, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 112, pp 1195-1207
- 12) Peres,R., Martinez,F., Vela,A.; 1993, Improved Design Branched Networks By Using Pressure-Reducing Valves, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 119, pp 164-180
- 13) Rao,H.S., Bree,D.W.; 1977, Extended period simulation of water systems-part A, Journal of the Hydraulics Division, vol 103, pp 97-107
- 14) Rowell,W.F., Barnes,J.W.; 1982, Obtaining Layout of Water Dİstribution System, Journal of the Hydraulics Division, vol 108, pp 137-148
- 15) Dr.S.Sevük, Dr.D.Altınbilek; 1977, Su Dağıtım Şebekeleri Projelendirme ve Bilgisayarla Çözüm Esasları, ODTÜ
- 16) Stephenson,D.; Developments In Water Science, 1984 Elsevier Science Publishing Company Inc.
- 17) Su,Y., Duan,L.W.N., Lansey,K., Mays,L.W.; 1987, Reliability-Based Optimization Model For Water Distribution Systems, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 114, pp 1539-1556
- 18) Wood,D.J., Asce,M., Rayes,A.G.;1981,Reliability of Algorithms For Pipe Network Analysis, Journal of the Hydraulics Division, vol 107, pp 1145-1181
- 19) Wood,D.J.,Charles,C.D.A.; 1972, Hydraulic Network Analysis Using Linear Theory, Journal of the Hydroulics Division, vol 98, pp 1157-1169
- 20) Wood,D.J., Reddy,S., Funk,J.E.; 1993, Modeling Pipe Networks Dominated By Junctions, Journal of the Hydraulics Engineering, vol 119, pp 949-958

EK 1

MATRİS İŞLEMLER

m tane satır ve n tane sütundan meydana gelen

$$a = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{biçime matris denir}$$

$$A = [a_{ij}] \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \text{ şeklinde gösterilir.}$$

m tane satır ve n tane sütundan meydana gelen matrise, satır ve sütun sayılarını belirtmek amacıyla m x n matris denir.

$$\text{Bir } A(m,n) \text{ matris : } \begin{cases} m > n & \text{ise dik} \\ m = n & \text{ise kare} \\ m < n & \text{ise geniş} \end{cases}$$

A matrisinin i inci satırının elemanları a_{i1}, \dots, a_{in} olup bunlar A'nın i inci satır vektörünü oluştururlar.

$$a^i = [a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}]$$

A matrisinin k nıncı sütunun elemanları $a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{mk}$ olup bunlarda A'nın k nıncı sütun vektörünü oluştururlar.

$$a_k = \begin{bmatrix} a_{1k} \\ a_{2k} \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{mk} \end{bmatrix}$$

Bunlarla A matrisi aşağıdaki biçimde gösterilir :

$$A = \begin{bmatrix} a^1 \\ a^2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a^m \end{bmatrix} \quad \text{yada} \quad A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$$

$$\text{Örnek; } A = \begin{bmatrix} 3 & 1 & 0 \\ 2 & 5 & 4 \end{bmatrix}$$

$$\text{matrisin satır vektörleri : } a^1 = [3, 1, 0] \quad a^2 = [2, 5, 4]$$

$$\text{ve sütun vektörleri : } a_1 = \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix}, \quad a_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 5 \end{bmatrix}, \quad a_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Matrislerin eşitliği

A matrisi $m \times n$ ve B matrisi de $m \times n$ olacak şekilde

$A = [a_i]$, $B = [b_i]$, ($i=1, \dots, m$; $j=1, \dots, n$) matrislerini gözönüne alalım, burada A'nın satır sayısı B'nin satır sayısına, A'nın sütun sayısı B'nin sütun sayısına eşittir.

Bu iki matrisin karşılıklı elemanları birbirine eşit yani

($i=1, 2, \dots, m$, $j=1, 2, \dots, n$) için $a_{ij} = b_{ij}$ ise $A=B$ gerçekleşir.

Matrisin Toplanması

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdot & \cdot & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdot & \cdot & b_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdot & \cdot & b_{mn} \end{bmatrix}$$

karşılıklı a_{ij} ve b_{ij} birbirleriyle toplanır.

$$A + B = \begin{bmatrix} a_{11} + b_{11} & a_{12} + b_{12} & a_{1n} + b_{1n} \\ a_{21} + b_{21} & a_{22} + b_{22} & a_{2n} + b_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} + b_{m1} & a_{m2} + b_{m2} & a_{mn} + b_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

İki matrisin toplanabilmesi için hem satır hem sütun sayıları karşılıklı olarak birbirine eşit olmalıdır.

Benzer yolla iki matrisin farkı da tanımlanabilir. Bunun için (1) de + işareti yerine - işaretini koymak gerekir.

a) Matrislerin toplamında komülatif kural geçerlidir.

$$A+B = B+A$$

b) Matrislerin toplamında asosyatif kural geçerlidir.

$$A+(B+C) = (A+B)+C$$

c) Toplamının etkisiz elemanı vardır. Sıfır matrisi bütün elemanları sıfır olan matristir.

$$0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & 0 \end{bmatrix}$$

$$A+0 = 0$$

d) Toplamın simetrik elemanı vardır.

$$A+(-A) = 0$$

Bir Matrisin bir Skalerle Çarpılması

Bir A matrisi bir k skaleri ile çarpılır ve bunun için de matrisin her satırının her elemanı bu skalerle çarpılır.

$$kA = \begin{bmatrix} ka_{11} & ka_{12} & \cdot & ka_{1n} \\ ka_{21} & ka_{22} & \cdot & ka_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ ka_{m1} & ka_{m2} & \cdot & ka_{mn} \end{bmatrix}$$

Matrislerin bir skalerle çarpımında distribütif kuralı vardır.

$$k(A+B) = kA+kB$$

Matrislerin Çarpılması

A matrisinin sütun sayısı B matrisinin satır sayısına eşit ise AB çarpımı mümkündür.

Örneğin A matrisi 5×2 , B matrisi 2×7 boyutlu matris ise AB mümkündür ve $AB=C$ matrisi 5×7 boyutlu matristir.

$$A = [a_{ij}] \quad (i=1, \dots, m ; j=1, \dots, n) \quad \text{ve}$$

$$B = [b_{ij}] \quad (i=1, \dots, n ; j=1, \dots, p)$$

matrislerini gözönüne alalım.

A matrisinin i numaralı satır elemanları

$$(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$$

ile B matrisin j numaralı sütun elemanları

$$(b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj})$$

karşılıklı olarak çarpılır ve toplanır.

$$a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \dots + a_{in}b_{nj} = \sum_{k=1}^{k=n} a_{ik}b_{kj}$$

Bu toplam $AB = C = [C_{ij}]$ ($i=1, \dots, m ; j=1, \dots, p$) matrisinin C_{ij} elemanıdır.

Örnek :

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 7 & 0 \\ 3 & 2 & 4 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 6 & 2 & 1 & 5 \\ 0 & 1 & 3 & -2 \\ 4 & 9 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad A.B = ?$$

2×3

ve

3×4 boyutlu matrisler

çarpılabilir, çarpım 2×4 boyutlu matristir.

$$\begin{array}{cccc|cccc} & & & & 6 & 2 & 1 & 5 \\ & & & & 0 & 1 & 3 & -2 \\ & & & & 4 & 9 & 1 & 1 \\ - & - & - & - & - & - & - & - \\ 5 & 7 & 0 & & x_1 & y_1 & z_1 & t_1 \\ 3 & 2 & 4 & & x_2 & y_2 & z_2 & t_2 \end{array}$$

$$x_1 = 5 \cdot 6 + 7 \cdot 0 + 0 \cdot 4, \quad y_1 = 5 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 0 \cdot 9, \quad z_1 = 5 \cdot 1 + 7 \cdot 3 + 0 \cdot 1, \quad t_1 = 5 \cdot 5 + 7 \cdot (-2) + 0 \cdot 1$$

$$x_2 = 3 \cdot 6 + 2 \cdot 0 + 4 \cdot 4, \quad y_2 = 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 4 \cdot 9, \quad z_2 = 3 \cdot 1 + 2 \cdot 3 + 4 \cdot 1, \quad t_2 = 3 \cdot 5 + 2 \cdot (-2) + 4 \cdot 1$$

$$AB = \begin{bmatrix} 30 & 17 & 26 & 11 \\ 34 & 44 & 13 & 15 \end{bmatrix} \quad \text{bulunur}$$

BA çarpımını bulamayız çünkü 3×4 ve 2×3 boyutlu matrisleri çarpımı yapılamaz.

Matrislerin Çarpımının Özellikleri

Matrislerin çarpımında komütatif kural geçerli değildir.

$$AB \neq BA$$

Bir matrisin sıfır matrisi ile çarpımı sıfır matristir. Her matrisin sıfır matrisi ile çarpımı komütatif kurala uyar.

$$A \cdot 0 = 0 \cdot A = 0$$

Matrislerin çarpımında asosyatif kural geçerlidir.

$$(AB)C = A(BC)$$

Örnek ;

$$A(1,3) = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad B(3,2) = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad C(2,2) = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7 & 8 \end{bmatrix} \quad [AB]C = [(AB)C]$$

$$\begin{bmatrix} 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 31 & 22 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 2 & 4 \\ 6 & 2 \end{bmatrix} \quad A(BC) = [A(BC)]$$

$$\begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 2 & 4 \\ 6 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 31 & 22 \end{bmatrix}$$

Distribütif kural matrislerin çarpımında komütatif kural geçersiz olduğundan distribütif kural iki biçimde yazılır.

$$(A+B)C = AC+BC$$

$$C(A+B) = CA+CB$$

$AB = AC$ den $A \neq 0$ ise daima $B=C$ olamaz.

Örnek ;

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 \\ 1 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 \\ 1 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 3 & 3 \\ 4 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \neq \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Kare Matris

Satırlarının sayısı sütunlarının sayısına eşit olan matrise kare matris denir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (n \times n \text{ boyutlu kare matris})$$

Kare matrisin kuvveti : Her kare matris kendisiyle çarpılabilir ve çarpım yine aynı boyutlu bir matristir. Örneğin ; $A.A$ çarpımı mümkündür. A matrisi $n \times n$ boyutlu ise $A.A = A^2$ matrisi de $n \times n$ boyutludur ve A^2 de tekrar A ile çarpılabilir. O halde

$$\underbrace{A.A.A.\dots.A}_{p \text{ tane}} = A^p \text{ ile gösterilebilir ve}$$

$$A^p . A^k = A^{p+k} , (A^p)^k = A^{pk} \text{ eşitliği geçerlidir.}$$

Köşegen Matris

Bir matrisin sadece asl köşegen elemanları sıfırdan farklı ise bu matrise köşegen matris denir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{23} & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Bir köşegen matriste asal köşegen üzerindeki elemanlar birbirine eşit ise buna skaler matris adı verilir. ($a_{11} = a_{22} = a_{33} = a_{nn} = k$) burada $k=1$ ise bu matrise birim matris denir. Bir matrisin birim matris ile soldan veya sağdan çarpımı kendisini verir. Bir matrisin köşegenel matrisle hem sağdan hem soldan çarpılabilmesi için A kare matris olmalıdır.

Bir Matrisin Transpozesi

A' veya A^T ile gösterilir.

$A=(a_{ij})(m,n)$ matrisinin transpozesi $A^T=(a_{ji})(n,m)$ biçiminde yazılır.

$$\text{Örnek ; } A_{(3,4)} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 5 & 1 \\ 0 & 4 & 6 & 7 \\ 1 & 8 & 10 & 12 \end{bmatrix} \quad A^T_{(4,3)} = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 2 & 4 & 8 \\ 5 & 6 & 10 \\ 1 & 7 & 12 \end{bmatrix}$$

$$(A^T)^T = A$$

Transpoze matrisin transpozesi asıl matristir.

$$(AB)^T = B^T A^T$$

$$(A^n)^T = (A^T)^n$$

Tipik matrisler

a) Bir kare matris transpozese eşitse ($A = -A^T$) ise bu matrise simetrik matris denir.

b) Bir kare matrisle transpozesi arasında $A = -A^T$ eşitliği varsa bu matrise ters matris denir.

Bir Matrisin Rangi

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdot & \cdot & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Matrisinde bazı satır ve sütunları silmek suretiyle elde edilen iki boyutlu kare matrislerden hiç olmazsa birinin determinanı sıfırdan farklı, fakat 1×1 den daha yüksek boyutlu kare matrislerden her birinin determinanı sıfı ise r sayısına A matrisinin rangı denir.

Örnek ;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 6 & 2 & 2 \\ 3 & 9 & 5 & 0 \end{bmatrix} \text{ matrisinin rangını bulmak istiyoruz.}$$

Birer sütun silmek suretiyle 4 tane üçüncü mertebeden determinant elde edilir. Bu determinantların birinci ve ikinci satırları orantılı olduğundan

$$\begin{vmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 2 & 6 & 2 \\ 3 & 9 & 5 \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 2 & 6 & 2 \\ 3 & 9 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 3 & 5 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad \begin{vmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 6 & 2 & 2 \\ 9 & 5 & 0 \end{vmatrix} = 0 \text{ dır.}$$

Elde edilebilecek ikini mertebeden determinantlar arasında örneğin

$$\begin{vmatrix} 6 & 2 \\ 9 & 5 \end{vmatrix} = 12 \neq 0 \text{ olduğundan bu matrisin rangı 2 dir.}$$

Elementer dönüşümler

1) i numaralı satırla j numaralı satırın yerlerini değiştirmek bu işlem S_{ij} ile gösterilecektir.

2) i ninci satır elemanlarının herbirini bir λ sayısı ile çarpmak. Bu işlem $S_i(\lambda)$ ile gösterilecektir.

3) j ninci satır elemanlarının herbirini λ ile çarpıp n inci satırın karşılıklı elemanlarına eklemek. Bu işlem $S_j(\lambda)$ ile gösterilecektir.

Aynı dönüşümler sütunlar için de yapılabilir.

Denk matrisler A matrisinden elementer dönüşümlerle bir B matrisini elde edilir. A ve B matrislerine denk matrisler denir ve $A \sim B$ ile gösterilir. Elementer dönüşümler bir matrisin boyutunu ve rangını değiştirmez kısaca A ve B matrislerinin rangı aynı r

sayısıdır. Bu sebepten, A matrisinin rangını bulmak için önce elemanter dönüşümlerle, mümkün olduğu kadar çok sayıda elemanı sıfır olan B matrisine dönüştürülür ve B matrisinin rangı bulunur.

Örnek ;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 & -1 \\ 3 & 6 & -3 & -3 \\ 4 & 8 & 7 & 0 \end{bmatrix}$$

$S_{21}(-3)$ ve $S_{31}(-4)$ ile

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 & -1 \\ 3 & 6 & -3 & -3 \\ 4 & 8 & 7 & 0 \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 2 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 4 \end{bmatrix} = B$$

B matrisinden elde edilebilecek üçüncü mertebeden determinantların her biri sıfırdır. (bu determinantların ikinci satırlarının sıfır olduğuna dikkat ediniz.)

Örneğin

$$\begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 11 & 4 \end{vmatrix} = 7 \neq 0 \quad \text{olduğundan B matrisinin rangı 2 dir. Elemanter}$$

dönüşümler matrisin rangını değiştirmedüğinden A matrisinin de rangı 2 dir.

Kare Matrisin Ek Matrisi (Adjoint)

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Matrisini gözönüne alalım. a_{ij} elemanının eşçarpanı A_{ij} ile gösterilmek üzere.

$$\begin{vmatrix} A_{11} & A_{21} & \cdot & A_{n1} \\ A_{12} & A_{22} & \cdot & A_{n2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{1n} & A_{2n} & \cdot & A_{nn} \end{vmatrix}$$

Matrisine A' nın adjoint matrisi denir ve $\text{Adj}A$ ile gösterilir.

A matrisinde her eleman yerine kendi eşçarpanını yazarak elde edilen matrisin transpoze edildiğine dikkat ediniz.

Örnek :

$$A = \begin{bmatrix} 7 & 5 & 3 \\ 1 & 0 & 2 \\ -3 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Adj}A \text{ yı bulunuz.}$$

$$\begin{aligned} A_{11} &= \begin{vmatrix} 0 & 2 \\ 4 & 1 \end{vmatrix} = -8 & A_{12} &= \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ -3 & 1 \end{vmatrix} = -7 \\ A_{13} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -3 & 4 \end{vmatrix} = 4 & A_{21} &= \begin{vmatrix} 5 & 3 \\ 4 & 1 \end{vmatrix} = 7 \\ A_{22} &= \begin{vmatrix} 7 & 3 \\ -3 & 1 \end{vmatrix} = 16 & A_{23} &= \begin{vmatrix} 7 & 5 \\ -3 & 4 \end{vmatrix} = -43 \\ A_{31} &= \begin{vmatrix} 5 & 3 \\ 0 & 2 \end{vmatrix} = 10 & A_{32} &= \begin{vmatrix} 7 & 3 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = -11 \\ & & A_{33} &= \begin{vmatrix} 7 & 5 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = -5 \end{aligned}$$

$$\text{Adj}A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8 & 7 & 10 \\ -4 & 16 & -11 \\ 4 & -43 & -5 \end{bmatrix}$$

Determinant açılımı

$$D = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1 b_2 c_3 + a_2 b_3 c_1 + a_3 b_1 c_2 - a_1 b_3 c_2 - a_2 b_1 c_3 - a_3 b_2 c_1$$

Minör yardımıyla determinant açılımı

$$D = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} = a_1 \begin{bmatrix} b_2 & c_2 \\ b_3 & c_3 \end{bmatrix} - b_1 \begin{bmatrix} a_2 & c_2 \\ a_3 & c_3 \end{bmatrix} + c_1 \begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ a_3 & b_3 \end{bmatrix}$$

Determinantın minör çarpımında işaret tablosu şu şekildedir.

$$\begin{bmatrix} + & - & + \\ - & + & - \\ + & - & + \end{bmatrix}$$

Sarus kuralı : Determinantın sağına sırasıyla birinci ve ikinci sütun yazılır. Böylece elde edilen şemadan determinantın değerini bulmak için, determinantın asal köşegeni ve ana paralel köşegenler üzerindeki elemanların çarpımları toplamından yedek köşegen ve ana paralel köşegenler üzerindeki elemanların çarpımları çıkarılır.

$$D = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{matrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ c_2 & c_3 \end{matrix}$$

$$D = -c_1 b_2 a_3 - a_1 c_2 b_3 - b_1 a_2 c_3 + a_1 b_2 c_3 + b_1 c_2 a_3 + c_1 a_2 b_3$$

Kare Matrisin İnvresi

A,B kare matrisleri $A.B = B.A = I$ bağıntısını sağlıyorsa B' ye A' nin inveris denir ve $B = A^{-1}$ ile gösterilir, aynı şekilde A da B' nin inversidir ve $A = B^{-1}$ yazılır.

Örnek ;

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{5} & \frac{2}{5} \\ \frac{3}{5} & -\frac{1}{5} \end{bmatrix}$$

$$AB = BA = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = I$$

olduğundan $B = A^{-1}$ ve $A = B^{-1}$

Bir çarpımın inversi ; $(AB)^{-1} = B^{-1}A^{-1}$ çarpımın inversi çarpanlarının inverslerinin ters sırada çarpımına eşittir.



Ek 2

GAUSS Eleminasyon Yöntemi

$$AX = C, \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = c_i, i=1(1)n$$

$$x_1 + a'_{12}x_2 + a'_{13}x_3 + \dots + a'_{1n}x_n = c'_1$$

$$x_2 + a'_{23}x_3 + \dots + a'_{2n}x_n = c'_2$$

.....

.....

$$x_n = c'_n$$

Bu tür işlem el hesaplamaları için uygundur. Ancak üst üçgen matrisin köşegen elemanlarının bir olması gerekmediginde işlem sayısının az olması nedeniyle,

$$a_{11}x_1 + a'_{12}x_2 + \dots + a'_{1n}x_n = c_1$$

$$a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = c_2$$

.....

.....

$$a'_{nn}x_n = c'_n$$

gibi yazılabilir. Bu durumda üçgenleştirme sırasında bazı bölme işlemlerine gerek kalmaz. geriye doğru gidişle çözüm vektörü bulunur.

Şimdi $a_{ij} = a_{ij}^{(1)}$, $c_i = c_i^{(1)}$, $c_i^{(1)} = c_i^{(1)}$ olmak üzere, orijinal sistemle aynı çözüme sahip olan ancak verilen sistemin birinci denkleminin

$$p_{1i} = \frac{a_{1i}}{a_{11}} \quad i=2:(1)n$$

ile çarpımının diğer denklemlerden çıkarılması ile elde edilen

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = c_1$$

$$a_{22}^{(2)}x_2 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = c_n^{(2)}$$

.....

.....

$$a_{n2}^{(2)}x_2 + \dots + a_{nn}^{(2)}x_n = c_n^{(2)}$$

sistemini düşünelim. Bu işlem aşağıdaki gibi yapılır.

$i=2(1)n$ için

$j=2(1)n$ için

$$a_{ij}^{(2)} = a_{ij} - p_{ij}a_{1j}$$

$$c_i^{(2)} = c_i - p_{i1}c_1$$

şimdi geçici olarak yeni problemi,

$$a_{22}^{(2)}x_2 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = c_{2n}^{(2)}$$

.....

.....

$$a_{n2}^{(2)}x_2 + \dots + a_{nn}^{(2)}x_n = c_n^{(2)}$$

denklemleri olarak düşünelim ve eliminasyon işlemini tekrarlayalım. Bu kez x_2 elemine olur. Böylece,

$$p_{j2} \frac{a_{j2}^{(2)}}{a_{22}^{(2)}} \quad i=3(1)n$$

olmak üzere,

$i=3(1)n$ için

$j=3(1)n$ için

$$a_{ij}^{(3)} = a_{ij}^{(2)} - p_{i2}a_{2i}^{(2)}$$

$$c_i^{(3)} = c_i^{(2)} - p_{i2}c_2^{(2)}$$

orijinali ile aynı çözümü içeren bir denklemleri sistemi elde edilir.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = c_1$$

$$0 + a_{22}^{(2)}x_2 + a_{23}^{(2)}x_3 + \dots + a_{2n}^{(2)}x_n = c_2^{(2)}$$

$$0 + 0 + a_{33}^{(3)}x_3 + \dots + a_{3n}^{(3)}x_n = c_3^{(3)}$$

.....

$$0 + 0 + a_{n3}^{(3)}x_3 + \dots + a_{nn}^{(3)}x_n = c_n^{(3)}$$

artık üçgenleştirme işlemi genel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$k = 1(1)n - 1$ için

$i = k + 1(1)n$ için

$$p_{ik} = \frac{a_{ik}}{a_{kk}}$$

$j = k + 1(1)n$ için

$$a_{ij}^{(k+1)} = a_{ij}^{(k)} - p_{ik} a_{kj}^{(k)}$$

$$c_i^{(k+1)} = c_i^{(k)} - p_{ik} c_k^{(k)}$$

çözüm vektörünün elemanlarının elde edilmesi için sırayla

$$x_n = \frac{c_n}{a_{nn}}$$

$$x_{n-1} = \frac{1}{a_{n-1,n-1}} (c_{n-1} - a_{n-1,n} x_n)$$

$$x_i = \frac{1}{a_{ii}} (c_i - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j) \quad i = n, n-1, \dots, 1$$

veya

$k = 1(1)n$ için

$i = n - k + 1$ olmak üzere

$$x_i = \frac{1}{a_{ii}} (c_i - \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_j)$$

işlemi yapılır. Bu analiz sırasında her $a_{ii}^{(k)} \neq 0$ varsayılmalıdır. p_{ik} çarpanı sıfır olabileceğinden saklanmalı ve $a_{ij}^{(k)}$ eski a_{ij} yerine geçmelidir. O zaman algoritmanın ileri işlemleri :

$k = 1(1)n$ için

$i = k + 1(1)n$ için

$$p_{ik} = \frac{a_{ik}}{a_{kk}}$$

$j = k + 1(1)n$ için

$$a_{ij} = a_{ij} - p_{ik} a_{kj}$$

$$c_i = c_i - p_{ik} c_k$$

Geri işlem,

$$k=1(1)n$$

$$i=n-k+1$$

$$x_i = a_{ii}(c_i - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j)$$

olur. Yukarıda tanımlanan algoritma çarpma ve bölme işlemlerinin sayısı çevrimler yardımı ile bulunur.

$$M = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k-1}^n (2 + \sum_{j=k-1}^n 1) + \sum_{k=1}^n (1 + \sum_{j=n-2-k}^n 1)$$

$$M = \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(2-n-k) + \sum_{k=1}^n (1-k-1)$$

$$M = \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)^2 + 2(n-k) \sum_{k=1}^n (k)$$

$$M = \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)^2 + 2 \sum_{k=1}^{n-1} (n-k) + \sum_{k=1}^n k$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} (n-k)^2 = 1^2 + 2^2 + \dots + (n-1)^2 = \frac{(n-1)n(2n-1)}{6}$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} (n-k) = 1 + 2 + \dots + (n-1) = \frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} (n-k) = 1 + 2 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Böylece

$$M = \frac{1}{6}(2n^2 - 2n^2 - 2n + 2) + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{2} + \frac{n^2}{2} + \frac{n}{2}$$

$$M = \frac{n^3}{3} = O(n^2)$$

GAUSS Eliminasyon Yönteminin Matris Dengi

Eliminasyon işlemleri, matrislerin denkliği ile ifade edilebilir. Bunu açıklamak için $AX=C$

veya açık şekli ile

olmak üzere

$$L_2 L_1 A = \begin{bmatrix} 1 & a'_{12} & a'_{13} & \dots & a'_{1n} \\ 0 & 1 & a'_{23} & \dots & a'_{2n} \\ 0 & 0 & a'_{33} & \dots & a'_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & a''_n & \dots & a''_m \end{bmatrix}$$

şeklinde olur. Bu işlemler

$$L_3 L_2 L_1 A X = L_3 L_2 L_1 C$$

$$L_4 L_3 L_2 L_1 A X = L_4 L_3 L_2 L_1 C$$

...

...

...

$$L_{n-1} L_{n-2} \dots L_2 L_1 A X = L_{n-1} L_{n-2} \dots L_2 L_1 C$$

Şeklinde devam ettirilir. Burada alt üçgen matrislerin çarpımı bir alt üçgen matristir. O zaman yukarıdaki son denklemler

$$L A X = L C$$

matris denkleminde denktir. İşleme giren son matrisin gerçektin U gibi bir üst üçgen matris olacağı görülmektedir. Denk 7.19'un sol tarafında bu

$$L A = U$$

işlemine denktir. O zaman matrisinin inversi

$$A^{-1} = U^{-1} L$$

gibi hesaplanabilir. Eliminasyon işleminin bu şekli çeşitli yöntemler arasındaki farkları göstermek bakımından öğretici bir uygulamadır.

EK 3**PIPE1 - LINEER BORU ANALIZI**

```


C          PROGRAM 1
C          MAIN PROGRAM FOR
C          ANALYSIS OF LINEAR PIPE NETWORKS
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),IB(60),TK(100,20),
* AL(100),ELRE(100),RENO(100),ELST(2,2),V(20)
EQUIVALENCE (TK(1,1),ELRE(1))
C
C          INITIALIZATION OF PROGRAM PARAMETERS
C
C          MNN = MAXIMUM NUMBER OF NODES ALLOWED
C          MNE = MAXIMUM NUMBER OF ELEMENTS ALLOWED
C          MNB = MAXIMUM NUMBER OF BOUNDARY NODES ALLOWED
C          NCMX = COLUMN DIMENSION FOR GLOBAL MATRIX OR
C          MAXIMUM HALF BAND WIDTH ALLOWED
C          NDF = NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM PER NODE
C          NNE = NUMBER OF NODES PER ELEMENT
C          NDFEL = TOTAL NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM
C          PER ELEMENT
C
MNN = 100
MNE = 100
MNB = 30
NRMX = 100
NCMX = 20

```

```
NDF = 1
NNE = 2
NDFEL = NDF*NNE
C
C  ASSIGN DATA SET NUMBERS TO,IN,FOR INPUT AND
C  IO,FOR OUTPUT
C
  IN = 5
  IO = 6
C
C  APPLY THE ANALYSIS STEPS
C
  CALL INPUT(X,Y,KON,PROP,AL,IB,RENO)
C
C  CHECK FOR LIMITS
C
  IF(MNN-NN)1,2,2
  1 WRITE(IO,101)
  101 FORMAT(/'**** TOO MANY NODES **** '/')
  GO TO 999
  2 IF(MNE-NE)3,4,4
  3 WRITE(IO,103)
  103 FORMAT(/'**** TOO MANY ELEMENTS **** '/')
  GO TO 999
  4 IF(MNB-NBN)5,7,7
  5 WRITE(IO,105)
  105 FORMAT(/'**** TOO MANY BOUNDARY NODES **** '/')
  GO TO 999
C
C  CHECK IF MAXIMUM HALF-BANDWIDTH WAS EXCEEDED
C
  7 IF(NCMX-MS)8,6,6
```

```
      8 WRITE(IO,108)
108 FORMAT(/***** MAXIMUM HALF-BANDWIDTH EXCEEDED *****)
      GO TO 999
C
C   ASSEMBLING OF GLOBAL MATRIX
C
      6 CALL ASSEM(X,Y,KON,PROP,TK,ELST,AL,NRMX,NCMX,NDFEL)
      WRITE(IO,3333) ((TK(IX,JX),JX=1,MS),IX=1,N)
3333 FORMAT(3F20.6)
      WRITE(IO,4444) (AL(IX),IX=1,N)
4444 FORMAT(F20.6)
C
C   CHECK FOR ERROR CONDITIONS
C
      IF(MS)9,9,10
      9 WRITE(IO,109)
109 FORMAT(/***** ERRORS DETECTED PREVENT ANALYSIS *****)
      GO TO 999
C
C   INTRODUCTION OF BOUNDARY CONDITIONS
C
      10 CALL BOUND(TK,AL,RENO,IB,NRMX,NCMX)
      WRITE(IO,3333) ((TK(IX,JX),JX=1,MS),IX=1,N)
      WRITE(IO,4444) (AL(IX),IX=1,N)
C
C   SOLUTION OF SYSTEM OF EQUATIONS
C
      CALL SLBSI(TK,AL,V,N,MS,NRMX,NCMX)
      WRITE(IO,3333) ((TK(IX,JX),JX=1,MS),IX=1,N)
      WRITE(IO,4444) (AL(IX),IX=1,N)
C
C   CHECK FOR ERROR CONDITIONS
```

```
C
  IF(MS)9,11,11
C
C  COMPUTATION OF MEMBER DISCHARGES
C
  11 CALL RESUL(KON,PROP,ELRE,RENO,X,Y,AL)
C
C  OUTPUT
C
  CALL OUTPT(AL,ELRE,RENO)
C
  999 CALL EXIT
C
  END
```



```

C
C
C
SUBROUTINE INPUT(X,Y,KON,PROP,AL,IB,RENO)
C
C      PROGRAM 2
C      PROGRAM FOR DATA INPUT
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1),AL(1),IB(1),RENO(1),IC(2)
C  DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),IB(60),
C  * AL(100),RENO(100),IC(2)
C
C  IC = AUXILIARY STORAGE TO STORE THE CONCTIVITY OF
C  AN ELEMENT, AND THE BOUNDARY UNKNOWNNS STATUS
C  INDICTORS
C
C  READ BASIC PARAMETERS
C
C  NN = NUMBER OF NODES
C  NE = NUMBER OF ELEMENTS
C  NLN = NUMBER OF LOADED NODES
C  NBN = NUMBER OF BOUNDARY NODES
C  E = VALUE OF THE MASS DENSITY*GRAVITY ACCELERATION/VISCOSITY
C
WRITE(IO,20)
20 FORMAT(' ',130('*'))
READ(IN,1)NN,NE,NLN,NBN,E
WRITE(IO,21)NN,NE,NLN,NBN,E
21 FORMAT('// INTERNAL DATA//' NUMBER OF NODES   : ',I5/
*' NUMBER OF ELEMENTS   : ',I5/
*' NUMBER OF NODES WITH KNOWN DISCHARGE: ',I5/

```

```

*1 NUMBER OF NODES WITH KNOWN HEAD:  :',I5/
*1 VALUE OF DENSITY*GRAVITY ACC./VISCOSITY: ',F15.2//
*1 NODAL COORDINATES'/7X,'NODE',6X,'X',9X,'Y')
1 FORMAT(4I10,F10.0)
C
C  READ NODAL COORDINATES IN ARRAY X AND Y
C
  DO 1111 J=1,NN
  READ (IN,2) I,X(I),Y(I)
1111 WRITE(IO,2) I,X(I),Y(I)
  2 FORMAT(I10,2F10.2)
C -----
  DO 5555 J=1,NN
5555 WRITE(IO,2) J,X(J),Y(J)
C -----
C
C  READ ELEMENT CONNECTIVITY IN ARRAY CON AND ELEMENT
C  DIAMETER IN ARRAY PROP
C
  WRITE(IO,22)
22 FORMAT('/ ELEMENT CONNECTIVITY AND DIAMETER'/4X,'ELEMENT',3X,
*'START NODE  END NODE  DIAMETER')
  DO 3 J=1,NE
  READ(IN,4) I,IC(1),IC(2),PROP(I)
  WRITE(IO,34) I,IC(1),IC(2),PROP(I)
  N1 = NNE*(I-1)
C  N1 = (I*2)-1
  KON(N1+1)=IC(1)
  3 KON(N1+2)=IC(2)
  4 FORMAT(3I10,F10.5)
  34 FORMAT(2I10,I12,F18.5)
C -----

```

```

      DO 5556 J=1,NE
5556 WRITE(IO,332) J,KON(J),PROP(J)
      332 FORMAT(2I12,F18.5)
C -----
C
C   COMPUTE N,ACTUAL NUMBER OF UNKNOWN, AND CLEAR RIGHT HAND
C   SIDE VECTOR
C
      N=NN*NDF
      DO 5 I=1,N
5 AL(I)=0
C
C   COMPUTE HALF BANDWIDTH
C
      CALL BAND(NE,NDF,NNE,MS,IO,KON)
C
C   READ THE NODAL DISCHARGES AND STORE THEM IN ARRAY AL
C
      WRITE(IO,23)
23 FORMAT('/ NODAL DISCHARGES '/8X,'NODE',5X,'VALUE')
      DO 6 I=1,NLN
      READ (IN,12) J,AL(J)
6 WRITE (IO,12) J,AL(J)
12 FORMAT(I10,F12.4)
C
C   READ BOUNDARY NODES DATA STORE PRESCRIBED HEAD VALUES IN
RENO
C
      WRITE(IO,24)
24 FORMAT('/ BOUNDARY CONDITION DATA'/8X,'NODE',5X,
*PRESCRIBED VALUES')
      DO 7 I=1,NBN

```

```
READ (IN,8)J,RENO(J)
WRITE(IO,9)J,RENO(J)
IB(2*I-1)=J
7 IB(2*I)=0
8 FORMAT(I10,F10.4)
9 FORMAT(I10,10X,F10.4)
RETURN
END
```



```
C
C
C   SUBROUTINE BAND(NE,NDF,NNE,MS,IO,KON)
C
C   PROGRAM 3
C   COMPUTATION OF THE HALF-BANDWIDTH
C
C   DIMENSION KON(200)
C   N1=NNE-1
C   MS=0
C   DO 2 I=1,NE
C   L1=NNE*(I-1)
C   DO 2 J=1,N1
C   L2=L1+J
C   J1=J+1
C   DO 2 K=J1,NNE
C   L3=L1+K
C   L=IABS(KON(L2)-KON(L3))
C   IF(MS-L)1,2,2
C 1 MS=L
C 2 CONTINUE
C   MS=NDF*(MS+1)
C   WRITE(IO,3) MS
C 3 FORMAT('/---- HALF-BANDWIDTH IS EQUAL TO',I5,' ----/')
C   RETURN
C   END
```

```

C
C
C   SUBROUTINE ASSEM(X,Y,KON,PROP,TK,ELST,AL,NRMX,NCMX,NDFEL)
C
C       PROGRAM 4
C   ASSEMBLING OF THE TOTAL MATRIX FOR THE PROBLEM
C
C   COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C   DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),TK(NRMX,NCMX),ELST(NDFEL,NDFEL),
C   *PROP(1),AL(1)
C
C   DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),TK(NRMX,NCMX),
C   * AL(100),ELST(NDFEL,NDFEL)
C
C   CLEAR SYSTEM MATRIX
C
C   DO 10 I=1,N
C   DO 10 J=1,MS
C   10 TK(I,J)=0
C
C   ASSEMBLE SYSTEM OF EQUATIONS ELEMENT BY ELEMENT
C
C   STIFF WILL COMPUTE ELEMENT MATRIX FOR CURRENT
C   ELEMENT IN ARRAY ELST
C   ELASS WILL STORE ELEMENT MATRIX IN TOTAL SYSTEM
C   MATRIX TK
C
C   DO 20 NEL=1,NE
C   CALL STIFF(NEL,X,Y,PROP,KON,ELST,AL,NDFEL)
C   20 CALL ELASS(NEL,KON,TK,ELST,NRMX,NCMX,NDFEL)
C   RETURN
C   END

```

```

C
C
C
  SUBROUTINE STIFF(NEL,X,Y,PROP,KON,ELST,AL,NDFEL)
C
C      PROGRAM 5
C      COMPUTATION OF ELEMENT MATRIX
C
C      COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C      DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1),ELST(NDFEL,NDFEL),AL(1)

      DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),
* AL(100),ELST(NDFEL,NDFEL)
C
C      NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C      N1 = NUMBER OF START NODE
C      N2 = NUMBER OF END NODE
C
      L=NNE*(NEL-1)
      N1=KON(L+1)
      N2=KON(L+2)
C
C      COMPUTE LENGTH OF ELEMENT
C
      D=SQRT((X(N2)-X(N1))**2+(Y(N2)-Y(N1))**2)
C
C      CHECK FOR ERROR CONDITIONS
C
      IF(D)1,1,2
      1 WRITE(IO,101) NEL
101 FORMAT(' **** ZERO LENGTH FOR ELEMENT : ',I5,' **** '/')
      GO TO 4

```

```
2 IF(PROP(NEL))3,3,5
3 WRITE(IO,103) NEL
103 FORMAT(/' **** ZERO DIAMETER FOR ELEMENT : ',I5,' **** '/')
4 MS=0
  GO TO 999
C
C  COMPUTE ELEMENT MATRIX
C
C  5 COEF=E*3.1416/128.*PROP(NEL)**4/D
  5 COEF=(E*3.1416*(PROP(NEL)**4))/(D*128.0)
  ELST(1,1)=COEF
  ELST(1,2)=-COEF
  ELST(2,1)=-COEF
  ELST(2,2)=COEF
999 RETURN
  END
```

```

C
C
C
  SUBROUTINE ELASS(NEL,KON,TM,ELMAT,NRMX,NCMX,NDFEL)
C
C      PROGRAM 6
C THIS PROGRAM STORES THE ELEMENT MATRIX FOR ELEMENT NEL
C IN THE TOTAL MATRIX FOR THE PROBLEM
C
C   DIMENSION KON(1),TM(NRMX,NCMX),ELMAT(NDFEL,NDFEL)
  COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
  DIMENSION KON(200),TM(NRMX,NCMX),ELMAT(NDFEL,NDFEL)
C
C NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C N1 = NUMBER OF START NODE
C N2 = NUMBER OF END NODE
C
  L1=NNE*(NEL-1)
  DO 50 I=1,NNE
  L2=L1+I
  N1=KON(L2)
  I1=NDF*(I-1)
  J1=NDF*(N1-1)
  DO 50 J=I,NNE
  L2=L1+J
  N2=KON(L2)
  I2=NDF*(J-1)
  J2=NDF*(N2-1)
  DO 50 K=1,NDF
  KI=1
  IF(N1-N2) 20,10,30
C

```

C STORE AN DIAGONAL SUBMATRIX

C

10 KI=K

C

C STORE AN OFF-DIAGONAL SUBMATRIX

C

20 KR=J1+K

IC=J2-KR+1

K1=I1+K

GO TO 40

C

C STORE THE TRANSPOSE OF AN OFF-DIAGONAL SUBMATRIX

C

30 KR=J2+K

IC=J1-KR+1

K2=I2+K

40 DO 50 L=KI,NDF

KC=IC+L

IF(N1-N2) 45,45,46

45 K2=I2+L

GO TO 50

46 K1=I1+L

50 TM(KR,KC)=TM(KR,KC)+ELMAT(K1,K2)

RETURN

END

```

C
C
C
SUBROUTINE BOUND(TK,AL,RENO,IB,NRMX,NCMX)
C
C      PROGRAM 7
C
C      INTRODUCTION OF BOUNDARY CONDITIONS
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C  DIMENSION AL(1),IB(1),RENO(1),TK(NRMX,NCMX)
  DIMENSION AL(100),IB(60),RENO(100),TK(NRMX,NCMX)
c
c
DO 100 L=1,NBN
C
C NO = NUMBER OF THE CURRENT BOUNDARY NODE
C
  L1=(NDF+1)*(L-1)+1
  NO=IB(L1)
  K1=NDF*(NO-1)
  DO 100 I=1,NDF
    L2=L1+I
    IF(IB(L2)) 100,10,100
C
C PRESCRIBED UNKNOWN TO BE CONSIDERED
C
C SET DIAGONAL COEFFICIENT OF TK EQUAL TO 1
C PLACE PRESCRIBED UNKNOWN VALUE IN ARRAY AL
C
  10 KR=K1+I
    DO 50 J=2,MS

```

```
KV=KR+J-1
IF(N-KV) 30,20,20
C
C MODIFY ROW OF TK AND CORRESPONDING ELEMENTS IN AL
C
20 AL(KV)=AL(KV)-(TK(KR,J)*RENO(KR))
   TK(KR,J)=0
30 KV=KR-J+1
   IF(KV) 50,50,40
C
C MODIFY COLUMN IN TK AND CORRESPONDING ELEMENT IN AL
C
40 AL(KV)=AL(KV)-(TK(KV,J)*RENO(KR))
   TK(KV,J)=0
50 CONTINUE
   TK(KR,1)=1
   AL(KR)=RENO(KR)
100 CONTINUE
   RETURN
   END
```

```

C
C
C
  SUBROUTINE SLBSI(A,B,D,N,MS,NX,MX)
C
C      PROGRAM 8
C SOLUTION OF LINEAR SYSTEMS OF EQUATIONS
C BY THE GAUSS ELIMINATION METHOD, FOR
C SYMMETRIC BANDED SYSTEMS
C
C A = ARRAY CONTAINING THE UPPER TRIANGULAR
C PART OF THE SYSTEM MATRIX, STORED
C ACCORDING TO THE SYMMETRIC BANDED
C SCHEME
C B = ORIGINALLY IT CONTAINS THE INDEPENDENT
C COEFFICIENTS. AFTER SOLUTION IT CONTAINS
C THE VALUES OF THE SYSTEM UNKNOWNNS
C
C N = ACTUAL NUMBER OF UNKNOWNNS
C MS= ACTUAL HALF-BANDWIDTH
C NX= ROW DIMENSION OF A AND B
C MX= COLUMN DIMENSION OF A
C
C D = AUXILIARY VECTOR
C
  DIMENSION A(NX,MX),B(NX),D(MX)
  N1=N-1
  DO 100 K=1,N1
    C=A(K,1)
    K1=K+1
    IF (ABS(C)-0.000001)1,1,3
  1 WRITE(6,2)K

```

```

2 FORMAT('**** SINGULARITY IN ROW ',I5)
  MS=0
  GO TO 300
C
C DIVIDE ROW BY DIAGONAL COEFFICIENT
C
3 NI=K1+MS-2
  L=MIN(NI,N)
  DO 11 J=2,MS
11 D(J)=A(K,J)
  DO 4 J=K1,L
  K2=J-K+1
4 A(K,K2)=A(K,K2)/C
  B(K)=B(K)/C
C
C ELIMINATE UNKNOWN X(K) FROM ROW I
C
  DO 10 I=K1,L
  K2=I-K1+2
  C=D(K2)
  DO 5 J=I,L
  K2=J-I+1
  K3=J-K+1
5 A(I,K2)=A(I,K2)-C*A(K,K3)
10 B(I)=B(I)-C*B(K)
100 CONTINUE
C
C COMPUTE LAST UNKNOWN
C
C IF(ABS(A(N,1))-0.000001) 1,1,101
  IF(ABS(A(N,1))-0.000001) 41,41,101
41 WRITE(6,2)K

```

```
MS=0
GO TO 300
101 B(N)=B(N)/A(N,1)
C
C APPLY BACKSUBSTITUTION PROCESS TO COMPUTE REMAINING
UNKNOWNNS
C
DO 200 I=1,N1
K=N-I
K1=K+1
NI=K1+MS-2
L=MIN(NI,N)
DO 200 J=K1,L
K2=J-K+1
200 B(K)=B(K)-A(K,K2)*B(J)
300 RETURN
END
```

```

C
C
C
SUBROUTINE RESUL(KON,PROP,ELRE,RENO,X,Y,AL)
C
C      PROGRAM 9
C
C      COMPUTATION OF ELEMENET DISCHARGES
C
C      DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1),AL(1),
C      *ELRE(1),RENO(1)
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),
* AL(100),ELRE(100),RENO(100)
C
C      CLEAR REAC ARRAY OF RESULTANT NODAL CONSUMPTIONS
C
C      DO 1 I=1,N
1 RENO(I)=0.0
C
C      NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C      N1 = NUMBER OF START NODE
C      N2 = NUMBER OF END NODE
C
C      DO 100 NEL=1,NE
L=NNE*(NEL-1)
N1=KON(L+1)
N2=KON(L+2)
C
C      COMPUTE LENGTH OF ELEMENT AND PROPERTY COEFFICIENT
C
C      D=SQRT((X(N2)-X(N1))**2+(Y(N2)-Y(N1))**2)

```

```
COEF=(E*3.1416*PROP(NEL)**4)/(D*128.0)
C
C  COMPUTE MEMBER DISCHARGE AND STORE IN ARRAY ELRE
C
C  ELRE(NEL)=COEF*(AL(N1)-AL(N2))
C
C  ADD MEMBER DISCHARGE TO THE ARRAY RENO
C
C  RENO(N1)=RENO(N1)+ELRE(NEL)
100 RENO(N2)=RENO(N2)-ELRE(NEL)
C
RETURN
END
```



```

C
C
SUBROUTINE OUTPT(AL,ELRE,RENO)
C
C      PROGRAM 10
C      OUTPUT PROGRAM
C
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C  DIMENSION AL(1),RENO(1),ELRE(1)
  DIMENSION AL(100),RENO(100),ELRE(100)
C
C  WRITE NODAL HEADS
C
  WRITE(IO,1)
  1 FORMAT(//1X,130('*')// RESULTS// NODAL HEADS//7X,'NODE',
    *9X,'HEAD')
  DO 10 I=1,NN
  10 WRITE(IO,2)I,AL(I)
  2 FORMAT(I10,F15.4)
C
C  WRITE NODAL DISCHARGES
C
  WRITE(IO,3)
  3 FORMAT(/ NODAL DISCHARGES//7X,'NODE',5X,'DISCHARGE')
  DO 20 I=1,NN
  20 WRITE(IO,2) I,RENO(I)
C
C  WRITE MEMBER DISCHARGES
C
  WRITE(IO,4)
  4 FORMAT(/ MEMBER DISCHARGES//4X,' MEMBER DISCHARGE')

```

```
DO 30 I=1,NE
30 WRITE(IO,2) I,ELRE(I)
   WRITE(IO,5)
5  FORMAT(//1X,130('*'))
   RETURN
END
```



EK IV**PIPE2 - NONLINEER BORU ANALIZI**

```
C      PROGRAM 11
C      MAIN PROGRAM FOR
C      NON LINEAR ANALYSIS OF PIPE NETWORKS
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),IB(60),TK(100,20),
* AL(100),ELRE(100),RENO(100),ELST(2,2),Q(100),H(100),V(20)
C
C      INITIALIZATION OF PROGRAM PARAMETERS
C
C      MNN = MAXIMUM NUMBER OF NODES ALLOWED
C      MNE = MAXIMUM NUMBER OF ELEMENTS ALLOWED
C      MNB = MAXIMUM NUMBER OF BOUNDARY NODES ALLOWED
C      NCMX = COLUMN DIMENSION FOR GLOBAL MATRIX OR
C      MAXIMUM HALF BAND WIDTH ALLOWED
C      NDF = NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM PER NODE
C      NNE = NUMBER OF NODES PER ELEMENT
C      NDFEL = TOTAL NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM
C      PER ELEMENT
C
MNN = 100
MNE = 100
MNB = 30
NRMX = 100
NCMX = 20
NDF = 1
NNE = 2
```

```
      NDFEL = NDF*NNE
C
C   ASSIGN DATA SET NUMBERS TO,IN,FOR INPUT AND
C   IO,FOR OUTPUT
C
      IN = 5
      IO = 6

C
C   APPLY THE ANALYSIS STEPS
C
      CALL INPUT(X,Y,KON,PROP,AL,RENO,IB,NMAX,TOL)
C
C   CHECK FOR LIMITS
C
      IF(MNN-NN)1,2,2
      1 WRITE(IO,101)
      101 FORMAT('/**** TOO MANY NODES **** '/')
      GO TO 999
      2 IF(MNE-NE)3,4,4
      3 WRITE(IO,103)
      103 FORMAT('/**** TOO MANY ELEMENTS **** '/')
      GO TO 999
      4 IF(MNB-NBN)5,7,7
      5 WRITE(IO,105)
      105 FORMAT('/**** TOO MANY BOUNDARY NODES **** '/')
      GO TO 999
C
C   CHECK IF MAXIMUM HALF-BANDWIDTH WAS EXCEEDED
C
      7 IF(NCMX-MS)8,6,6
      8 WRITE(IO,108)
```

```
108 FORMAT(/'**** MAXIMUM HALF-BANDWIDTH EXCEEDED **** '/')
      GO TO 999
C
C   SAVE INPUT CONSUMPTION VECTOR IN ARRAYS Q, ELRE
C   AND CLEAR NODAL HEAD ARRAY H
C
      6 DO 10,J=1,N
        Q(J)=AL(J)
        ELRE(J)=AL(J)
      10 H(J)=0
C
C   OBTAIN INITIAL SOLUTION
C
      CALL INCOE(X,Y,KON,PROP)
      IF(MS)12,11,11
C
C   CHECK FOR ERROR CONDITIONS
C
      11 CALL ASSEM(X,Y,KON,PROP,TK,ELST,H,NRMX,NCMX,NDFEL)
        CALL BOUND(TK,AL,RENO,IB,NRMX,NCMX)
        CALL SLBSI(TK,AL,V,N,MS,NRMX,NCMX)
C
C   READ KODE FOR INTERMEDIATE OUTPUT, INITIALIZE
C   STEP COUNTER, AND START ITERATIONS
C
      READ(IN,15) KODE
      15 FORMAT(I10)
C
C   CHECK FOR SINGULARITIES
C
      IF(MS)12,12,13
      12 WRITE(IO,1012)
```

```

1012 FORMAT(/' **** ERROR DETECTED DURING INITIAL SOLUTION ****'/)
      GO TO 999
      13 ISTEP=0
          WRITE(IO,1097)
1097 FORMAT(' ',70('*'))
C
C   ADD NODAL HEADS INCREMENT TO CURRENT TOTAL HEADS
C
      40 DO 50 J=1,N
          50 H(J)=H(J)+AL(J)
C
          IF(KODE)52,52,51
          51 WRITE(IO,1098) ISTEP
1098 FORMAT(/' ***** ITERATION NUMBER',I15,' *****'//
          *' NODE      HEAD' ,7X,'TOTAL VECTOR COMPUTED VECTOR',
          *'/)
          52 CALL ASSEM(X,Y,KON,PROP,TK,ELST,H,NRMX,NCMX,NDFEL)
C
C   RESTORE INITIAL CONSUMPTION VECTOR IN ARRAY Q
C
          DO 30 J=1,N
          30 Q(J)=ELRE(J)
              CALL BOUND(TK,Q,RENO,IB,NRMX,NCMX)
              CALL MULTI(TK,H,AL,NRMX,NCMX)
              IF(KODE)1102,1102,1099
1099 DO 1100 J=1,N
1100 WRITE(IO,1101) J,H(J),Q(J),AL(J)
1101 FORMAT(I5,3F15.6)
1102 DEL=0
          TOT=0
          DO 60 J=1,N
          AL(J)=Q(J)-AL(J)

```

```
      DEL=DEL+(AL(J)**2
60 TOT=TOT+ABS(Q(J))
C
C   CHECK CONVERGENCE AND ITERATION LIMIT
C
      ERROR=SQRT(DEL)/TOT
      IF (ERROR-TOL)70,70,80
70 WRITE(IO,71)ISTEP
71 FORMAT(/'CONVERGENCE ACHIEVED ON CYCLE',I5/)
      GO TO 100
80 ISTEP=ISTEP+1
      IF(ISTEP-NMAX)90,90,81
81 WRITE(IO,82)
82 FORMAT(/' MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS REACHED WITHOUT
* CONVERGENCE*!/)
      GO TO 100
C
C   COMPUTE TANGENT SYSTEM MATRIX
C
      90 DO 89 J=1,N
      89 AL(J)=AL(J)/0.54
C
C   OBTAIN NEW NODAL HEADS INCREMENT
C
      CALL SLBSI(TK,AL,V,N,MS,NRMX,NCMX)
C
C   CHECK FOR SINGULARITIES
C
      IF(MS)92,92,40
92 WRITE(IO,1092)
1092 FORMAT(/' **** ERROR DETECTED DURING THE ITERATIONS ****'/)
      GO TO 999
```

```
C   GO TO 40
  100 CALL RESUL(KON,PROP,ELRE,RENO,X,Y,H)
C
C   OUTPUT
C
  CALL OUTPT(H,ELRE,RENO)
C
  999 CALL EXIT
C
  END
```



```

C
C
SUBROUTINE INPUT(X,Y,KON,PROP,AL,RENO,IB,NMAX,TOL)
C
C      PROGRAM 12
C      PROGRAM FOR DATA INPUT
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1),AL(1),IB(1),RENO(1),IC(2)
C
C  READ BASIC PARAMETERS
C
C  NN = NUMBER OF NODES
C  NE = NUMBER OF ELEMENTS
C  NLN = NUMBER OF LOADED NODES
C  NBN = NUMBER OF BOUNDARY NODES
C  NMAX= MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS
C  E = VALUE OF THE RELATIVE ROUGHNESS
C
WRITE(IO,20)
20 FORMAT(' ',70('*'))
READ(IN,1)NN,NE,NLN,NBN,NMAX,TOL,E
WRITE(IO,21)NN,NE,NLN,NBN,NMAX,TOL,E
21 FORMAT(/' INTERNAL DATA/' NUMBER OF NODES      : ',I5/
*' NUMBER OF ELEMENTS      : ',I5/
*' NUMBER OF NODES WITH KNOWN DISCHARGE: ',I5/
*' NUMBER OF NODES WITH KNOWN HEAD:      ',I5/
*' MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS: ',I5/
*' TOLERANCE: ',16X,F10.7//
*' RELATIVE ROUGHNESS : ',F15.7//
*' NODAL COORDINATES'/7X,'NODE',6X,'X',9X,'Y')
1 FORMAT(5I10,F10.7,F15.7)

```

```

C
C  READ NODAL COORDINATES IN ARRAY X AND Y
C
  READ (IN,2) (I,X(I),Y(I),J=1,NN)
  WRITE(IO,2) (I,X(I),Y(I),I=1,NN)
  2 FORMAT(I10,2F10.2)
C
C  READ ELEMENT CONNECTIVITY IN ARRAY KON AND ELEMENT
C  DIAMETER IN ARRAY PROP
C
  WRITE(IO,22)
  22 FORMAT('/ ELEMENT CONNECTIVITY AND DIAMETER'/4X,'ELEMENT',3X,
  *'START NODE  END NODE  DIAMETER')
  DO 3 J=1,NE
  READ(IN,4) I,IC(1),IC(2),PROP(I)
  WRITE(IO,34) I,IC(1),IC(2),PROP(I)
  N1 = NNE*(I-1)
  KON(N1+1)=IC(1)
  3 KON(N1+2)=IC(2)
  4 FORMAT(3I10,F10.5)
  34 FORMAT(2I10,I12,F18.5)
C
C  COMPUTE N,ACTUAL NUMBER OF UNKNOWNNS, AND
C  CLEAR RIGHT HAND SIDE VECTOR
C
  N=NN*NDF
  DO 5 I=1,N
  5 AL(I)=0.0
C
C  COMPUTE HALF BANDWIDTH AND STORE IN MS
C
  CALL BAND(NE,NDF,NNE,MS,IO,KON)

```

```
C
C CALL THE NODAL DISCHARGES AND STORE THEM IN ARRAY AL
C
C READ THE NODAL DISCHARGES '/8X,'NODE',5X,'VALUE')
C
WRITE(IO,23)
23 FORMAT('/ NODAL DISCHARGES '/8X,'NODE',5X,'VALUE')
DO 66 I=1,NLN
READ (IN,10) J,W
WRITE (IO,11) J,W
10 FORMAT(I10,F12.4)
11 FORMAT(I10,F12.4)
AL(J)=W
66 CONTINUE
C
C READ BOUNDARY NODES DATA STORE PRESCRIBED HEAD VALUES IN
RENO
C
WRITE(IO,24)
24 FORMAT('/ BOUNDARY CONDITION DATA'/8X,'NODE',5X,
*'PRESCRIBED VALUES')
DO 77 I=1,NBN
READ (IN,8)J,RENO(J)
WRITE(IO,9)J,RENO(J)
IB(2*I-1)=J
77 IB(2*I)=0
8 FORMAT(I10,F10.4)
9 FORMAT(I10,10X,F10.4)
RETURN
END
```

```

C
C
C
SUBROUTINE INCOE(X,Y,KON,PROP)
C
C      PROGRAM 13
C      EVALUATION OF THE INITIAL 'K' COEFFICIENTS
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1)
C
DO 10 NEL=1,NE
L=NNE*(NEL-1)
N1=KON(L+1)
N2=KON(L+2)
D=SQRT((X(N2)-X(N1))**2+(Y(N2)-Y(N1))**2)
C
C      CHECK FOR ZERO LENGTH OR DIAMETER
C
IF(D)1,1,2
1 WRITE(IO,101) NEL
101 FORMAT('/ **** ZERO LENGTH FOR ELEMENT : ',I5,' ****/')
GO TO 4
2 IF(PROP(NEL))3,3,5
3 WRITE(IO,103) NEL
103 FORMAT('/ **** ZERO DIAMETER FOR ELEMENT : ',I5,' ****/')
4 MS=0
GO TO 10
5 PROP(NEL)=(0.2784*(PROP(NEL)**2.63)*E)/(D**0.54)
10 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C
C
SUBROUTINE STIFF(NEL,X,Y,PROP,KON,ELST,H,NDFEL)
C
C      PROGRAM 14
C      COMPUTATION OF ELEMENT MATRIX
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),PROP(1),ELST(NDFEL,NDFEL),H(1)
C
C      NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C      N1 = NUMBER OF START NODE
C      N2 = NUMBER OF END NODE
C
L=NNE*(NEL-1)
N1=KON(L+1)
N2=KON(L+2)
C
C      COMPUTE LENGTH OF ELEMENT
C
D=SQRT((X(N2)-X(N1))**2+(Y(N2)-Y(N1))**2)
C
C      COMPUTE ELEMENT MATRIX
C
DH=H(N1)-H(N2)
IF(ABS(DH)-0.0000001)10,10,21
10 COEF=PROP(NEL)
GO TO 3
21 COEF=PROP(NEL)*((ABS(DH))**(-0.46))
3 ELST(1,1)=COEF
ELST(1,2)=-COEF
ELST(2,1)=-COEF

```

```
ELST(2,2)=COEF  
RETURN  
END
```



```

C
C
C   SUBROUTINE MULTI(TK,H,AL,NRMX,NCMX)
C
C       PROGRAM 15
C   MULTIPLICATION OF A BANDED MATRIX TK TIMES
C   TIMES A VECTOR H STORING RESULTS IN VECTOR AL
C
C   COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C   DIMENSION TK(NRMX,NCMX),H(1),AL(1)
C
C   DO 100 I=1,N
C     AL(I)=0
C     K1=I-MS+1
C     IF(K1)10,10,11
C10  K1=1
C11  IF(I+MS-1-N)12,12,13
C12  K2=MS
C     GO TO 14
C13  K2=N-I+1
C14  DO 50 J=K1,I
C     K=I-J+1
C     AL(I)=AL(I)+TK(J,K)*H(J)
C50  CONTINUE
C     IF (I-N)15,101,101
C15  DO 100 J=2,K2
C     AL(I)=AL(I)+TK(I,J)*H(I+J-1)
C100 CONTINUE
C101 RETURN
C     END

```

```
C
C
C   SUBROUTINE RESUL(KON,PROP,ELRE,RENO,X,Y,H)
C
C       PROGRAM 16
C
C   COMPUTATION OF ELEMENT DISCHARGES
C
C   COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C   DIMENSION KON(1),PROP(1),ELRE(1),RENO(1),X(1),Y(1),H(1)
C
C   CLEAR ARRAY RENO
C
C   DO 1 I=1,N
1  RENO(I)=0.0
C
C   NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C
C   N1 = NUMBER OF START NODE
C   N2 = NUMBER OF END NODE
C
C   DO 100 NEL=1,NE
C   L=NNE*(NEL-1)
C   N1=KON(L+1)
C   N2=KON(L+2)
C   K1=NDF*(N1-1)
C   K2=NDF*(N2-1)
C
C   COMPUTE MEMBER DISCHARGE AND STORE IN ARRAY ELRE
C
C   A=H(N1)-H(N2)
```

```
AA=ABS(A)
AAUS=AA**0.54
CC=PROP(NEL)*AAUS
IF (A)11,11,12
11 ELRE(NEL)=-1.0*CC

C  ELRE(NEL)=SIGN(1.0,A)*PROP(NEL)*((ABS(A))**0.54)
C
C  ADD MEMBER DISCHARGE TO THE ARRAY RENO
C
12 ELRE(NEL)=CC
   RENO(N1)=RENO(N1)+ELRE(NEL)
   RENO(N2)=RENO(N2)-ELRE(NEL)
100 CONTINUE
C
RETURN
END
```

```
C
C
SUBROUTINE BAND(NE,NDF,NNE,MS,IO,KON)
C
C      PROGRAM 3
C      COMPUTATION OF THE HALF-BANDWIDTH
C
DIMENSION KON(200)
N1=NNE-1
MS=0
DO 2 I=1,NE
L1=NNE*(I-1)
DO 2 J=1,N1
L2=L1+J
J1=J+1
DO 2 K=J1,NNE
L3=L1+K
L=IABS(KON(L2)-KON(L3))
IF(MS-L)1,2,2
1 MS=L
2 CONTINUE
MS=NDF*(MS+1)
WRITE(IO,3) MS
3 FORMAT(/'---- HALF-BANDWIDTH IS EQUAL TO',I5,' ----'/)
RETURN
END
```

```

C
C
C   SUBROUTINE ASSEM(X,Y,KON,PROP,TK,ELST,AL,NRMX,NCMX,NDFEL)
C
C       PROGRAM 4
C   ASSEMBLING OF THE TOTAL MATRIX FOR THE PROBLEM
C
C   COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C   DIMENSION X(1),Y(1),KON(1),TK(NRMX,NCMX),ELST(NDFEL,NDFEL),
C   *PROP(1),AL(1)

C
C   DIMENSION X(100),Y(100),KON(200),PROP(100),TK(NRMX,NCMX),
C   * AL(100),ELST(NDFEL,NDFEL)
C
C   CLEAR SYSTEM MATRIX
C
C   DO 10 I=1,N
C   DO 10 J=1,MS
C   10 TK(I,J)=0
C
C   ASSEMBLE SYSTEM OF EQUATIONS ELEMENT BY ELEMENT
C
C   STIFF WILL COMPUTE ELEMENT MATRIX FOR CURRENT
C   ELEMENT IN ARRAY ELST
C   ELASS WILL STORE ELEMENT MATRIX IN TOTAL SYSTEM
C   MATRIX TK
C
C   DO 20 NEL=1,NE
C   CALL STIFF(NEL,X,Y,PROP,KON,ELST,AL,NDFEL)
C   20 CALL ELASS(NEL,KON,TK,ELST,NRMX,NCMX,NDFEL)
C   RETURN
C   END

```

```
C
C
C
  SUBROUTINE ELASS(NEL,KON,TM,ELMAT,NRMX,NCMX,NDFEL)
C
C      PROGRAM 6
C THIS PROGRAM STORES THE ELEMENT MATRIX FOR ELEMENT NEL
C IN THE TOTAL MATRIX FOR THE PROBLEM
C
C   DIMENSION KON(1),TM(NRMX,NCMX),ELMAT(NDFEL,NDFEL)
  COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
  DIMENSION KON(200),TM(NRMX,NCMX),ELMAT(NDFEL,NDFEL)
C
C NEL= CURRENT ELEMENT NUMBER
C N1 = NUMBER OF START NODE
C N2 = NUMBER OF END NODE
C
  L1=NNE*(NEL-1)
  DO 50 I=1,NNE
  L2=L1+I
  N1=KON(L2)
  I1=NDF*(I-1)
  J1=NDF*(N1-1)
  DO 50 J=I,NNE
  L2=L1+J
  N2=KON(L2)
  I2=NDF*(J-1)
  J2=NDF*(N2-1)
  DO 50 K=1,NDF
  KI=1
  IF(N1-N2) 20,10,30
C
```

```
C  STORE AN DIAGONAL SUBMATRIX
C
10 KI=K
C
C  STORE AN OFF-DIAGONAL SUBMATRIX
C
20 KR=J1+K
   IC=J2-KR+1
   K1=I1+K
   GO TO 40
C
C  STORE THE TRANSPOSE OF AN OFF-DIAGONAL SUBMATRIX
C
30 KR=J2+K
   IC=J1-KR+1
   K2=I2+K
40 DO 50 L=KI,NDF
   KC=IC+L
   IF(N1-N2) 45,45,46
45 K2=I2+L
   GO TO 50
46 K1=I1+L
50 TM(KR,KC)=TM(KR,KC)+ELMAT(K1,K2)
   RETURN
   END
```

```

C
C
C
SUBROUTINE BOUND(TK,AL,RENO,IB,NRMX,NCMX)
C
C      PROGRAM 7
C
C      INTRODUCTION OF BOUNDARY CONDITIONS
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C  DIMENSION AL(1),IB(1),RENO(1),TK(NRMX,NCMX)
  DIMENSION AL(100),IB(60),RENO(100),TK(NRMX,NCMX)
c
c
DO 100 L=1,NBN
C
C NO = NUMBER OF THE CURRENT BOUNDARY NODE
C
  L1=(NDF+1)*(L-1)+1
  NO=IB(L1)
  K1=NDF*(NO-1)
  DO 100 I=1,NDF
    L2=L1+I
    IF(IB(L2)) 100,10,100
C
C PRESCRIBED UNKNOWN TO BE CONSIDERED
C
C SET DIAGONAL COEFFICIENT OF TK EQUAL TO 1
C PLACE PRESCRIBED UNKNOWN VALUE IN ARRAY AL
C
  10 KR=K1+I
    DO 50 J=2,MS

```

```
KV=KR+J-1
IF(N-KV) 30,20,20
C
C MODIFY ROW OF TK AND CORRESPONDING ELEMENTS IN AL
C
20 AL(KV)=AL(KV)-(TK(KR,J)*RENO(KR))
   TK(KR,J)=0
30 KV=KR-J+1
   IF(KV) 50,50,40
C
C MODIFY COLUMN IN TK AND CORRESPONDING ELEMENT IN AL
C
40 AL(KV)=AL(KV)-(TK(KV,J)*RENO(KR))
   TK(KV,J)=0
50 CONTINUE
   TK(KR,1)=1
   AL(KR)=RENO(KR)
100 CONTINUE
   RETURN
   END
```

```

C
C
C
  SUBROUTINE SLBSI(A,B,D,N,MS,NX,MX)
C
C      PROGRAM 8
C SOLUTION OF LINEAR SYSTEMS OF EQUATIONS
C BY THE GAUSS ELIMINATION METHOD, FOR
C SYMMETRIC BANDED SYSTEMS
C
C A = ARRAY CONTAINING THE UPPER TRIANGULAR
C PART OF THE SYSTEM MATRIX, STORED
C ACCORDING TO THE SYMMETRIC BANDED
C SCHEME
C B = ORIGINALLY IT CONTAINS THE INDEPENDENT
C COEFFICIENTS. AFTER SOLUTION IT CONTAINS
C THE VALUES OF THE SYSTEM UNKNOWNNS
C
C N = ACTUAL NUMBER OF UNKNOWNNS
C MS= ACTUAL HALF-BANDWIDTH
C NX= ROW DIMENSION OF A AND B
C MX= COLUMN DIMENSION OF A
C
C D = AUXILIARY VECTOR
C
  DIMENSION A(NX,MX),B(NX),D(MX)
  N1=N-1
  DO 100 K=1,N1
    C=A(K,1)
    K1=K+1
    IF (ABS(C)-0.000001)1,1,3
  1 WRITE(6,2)K

```

```

2 FORMAT('**** SINGULARITY IN ROW ',I5)
  MS=0
  GO TO 300
C
C DIVIDE ROW BY DIAGONAL COEFFICIENT
C
3 NI=K1+MS-2
  L=MIN(NI,N)
  DO 11 J=2,MS
11 D(J)=A(K,J)
  DO 4 J=K1,L
    K2=J-K+1
4 A(K,K2)=A(K,K2)/C
  B(K)=B(K)/C
C
C ELIMINATE UNKNOWN X(K) FROM ROW I
C
  DO 10 I=K1,L
    K2=I-K1+2
    C=D(K2)
    DO 5 J=I,L
      K2=J-I+1
      K3=J-K+1
5 A(I,K2)=A(I,K2)-C*A(K,K3)
10 B(I)=B(I)-C*B(K)
100 CONTINUE
C
C COMPUTE LAST UNKNOWN
C
C IF(ABS(A(N,1))-0.000001) 1,1,101
  IF(ABS(A(N,1))-0.000001) 41,41,101
41 WRITE(6,2)K

```

```
MS=0
GO TO 300
101 B(N)=B(N)/A(N,1)
C
C APPLY BACKSUBSTITUTION PROCESS TO COMPUTE REMAINING
UNKNOWNS
C
DO 200 I=1,N1
K=N-I
K1=K+1
NI=K1+MS-2
L=MIN(NI,N)
DO 200 J=K1,L
K2=J-K+1
200 B(K)=B(K)-A(K,K2)*B(J)
300 RETURN
END
```

```

C
C
SUBROUTINE OUTPT(AL,ELRE,RENO)
C
C      PROGRAM 10
C      OUTPUT PROGRAM
C
C
COMMON NN,NE,NLN,NBN,NDF,NNE,N,MS,IN,IO,E
C  DIMENSION AL(1),RENO(1),ELRE(1)
  DIMENSION AL(100),RENO(100),ELRE(100)
C
C  WRITE NODAL HEADS
C
  WRITE(IO,1)
1  FORMAT(//1X,130('*')// RESULTS// NODAL HEADS//7X,'NODE',
  *9X,'HEAD')
  DO 10 I=1,NN
10  WRITE(IO,2)I,AL(I)
  2  FORMAT(I10,F15.4)
C
C  WRITE NODAL DISCHARGES
C
  WRITE(IO,3)
3  FORMAT(/ NODAL DISCHARGES//7X,'NODE',5X,'DISCHARGE')
  DO 20 I=1,NN
20  WRITE(IO,2) I,RENO(I)
C
C  WRITE MEMBER DISCHARGES
C
  WRITE(IO,4)
4  FORMAT(/ MEMBER DISCHARGES//4X,' MEMBER DISCHARGE')

```

```
DO 30 I=1,NE
30 WRITE(IO,2) I,ELRE(I)
   WRITE(IO,5)
5 FORMAT(//1X,130('*'))
RETURN
END
```



EK V

HARDY-CROSS METODU İLE DEBİ HESABI

```

10 CLS : KEY OFF: DIM L(100), D(100), C(100), Q(100), N(50), R(100), A(100, 100)
20 INPUT " N1=SEBEKEDEKI TOPLAM BORU SAYISI'ni GIRINIZ "; N1
30 INPUT " N2=SEBEKEDEKI TOPLAM GOZ SAYISI'ni GIRINIZ "; N2: PRINT
33 PRINT " L=BORU UZUNLUGU * D=BORU CAPI* C=PURUZLULUK *Q=BASLANGIC DEBISI "
36 PRINT "-----"
40 FOR I = 1 TO N1
42 PRINT I; ". BORU ICIN L= "; : INPUT L(I)
44 PRINT I; ". BORU ICIN D= "; : INPUT D(I)
46 PRINT I; ". BORU ICIN C= "; : INPUT C(I)
48 PRINT I; ". BORU ICIN Q= "; : INPUT Q(I)
50 NEXT I: PRINT
100 PRINT " SEBEKE PROBLEMLERININ COZUM PROGRAMI "
110 PRINT
120 PRINT " BASLIK"; : INPUT T$
140 GOSUB 1040
150 PRINT " ITERASYON SAYISI "; : INPUT K
170 PRINT " DUZELTME ( TOLERANS ) DEBISI "; : INPUT D1
190 PRINT : INPUT " VERILERINIZDE HATA VAR MI (E/H) "; A$: IF A$ = "E" OR A$ = "
200 PRINT : INPUT " SONUCLARI EKRANDAN ISTIYORSANIZ '1'; YAZICIDAN ISTIYORSANIZ
203 REM
205 REM ***** HERBIR GOZDEKI BORULARIN SAYISINI GIRINIZ *****
207 REM
210 INPUT " N2=TOPLAM GOZ SAYISINI GIRINIZ "; N2
215 PRINT "-----"
220 PRINT "I=SEBEKEDEKI MAX. GOZ SAYISI ** J=HERHANGI BIR GOZDEKI MAX.BORU SAYIS
223 PRINT " OLMAK UZERE "
225 PRINT
227 INPUT "I VE J 'yi GIRINIZ * 2,3 * GIBI "; I, J
233 FOR I = 1 TO N2
235 PRINT I; ". "; " GOZ ICIN ISLEM "
237 PRINT "-----"
240 PRINT I; ". "; "GOZDEKI BORU SAYISI=N(I) GIRINIZ "; : INPUT N(I): PRINT
245 FOR J = 1 TO N(I)
250 PRINT "A"; "("; I; ","; J; ")" "; " GIRINIZ "; : INPUT A(I, J)
255 NEXT J: PRINT : NEXT I
350 REM
360 REM *** HER BIR BORU ICIN HESAP ***
370 REM
380 FOR I = 1 TO N1
390 R(I) = C1 * L(I) / C(I) ^ 1.852 / D(I) ^ 4.8704
400 NEXT I
410 REM
420 REM *** HARDY- CROSS METODUNU KULLANARAK DEBILERIN DUZELTILMESI ***
430 REM
440 K1 = 0
450 K2 = 0
460 FOR I = 1 TO N2
470 N3 = 0
480 N4 = 0
490 FOR J = 1 TO N(I)
500 A2 = 1
510 IF A(I, J) < 0 THEN A2 = -1
520 N5 = ABS(A(I, J))
530 N3 = N3 + A2 * R(N5) * Q(N5) * ABS(Q(N5)) ^ .852
540 N4 = N4 + R(N5) * 1.852 * ABS(Q(N5)) ^ .852
550 NEXT J
560 N6 = -N3 / N4
570 IF ABS(N6) > K1 THEN K1 = ABS(N6)
580 FOR J = 1 TO N(I)

```

```

590 A2 = 1
600 IF A(I, J) < 0 THEN A2 = -1
610 N5 = ABS(A(I, J))
620 Q(N5) = A2 * Q(N5) + N6
630 Q(N5) = A2 * Q(N5)
640 NEXT J
650 NEXT I
660 K2 = K2 + 1
670 IF K1 <= D1 THEN 710
680 IF K2 = K THEN 710
690 K1 = 0
700 GOTO 460
710 IF ZZ$ = "1" THEN 720 ELSE 780
720 PRINT
730 PRINT "***** "; T$; " ****"
740 PRINT
750 PRINT TAB(13); " BORU NO : "; TAB(32); "DEBI"
760 PRINT TAB(29); Q$
770 GOTO 850
780 LPRINT "SEBEKE PROBLEMLERININ COZUMU "
790 LPRINT "===== "
800 LPRINT "BASLIK :"; T$
810 LPRINT
820 LPRINT "-----"
830 LPRINT TAB(10); "BORU NO ; "; TAB(30); "DEBI"
840 LPRINT TAB(29); Q$
850 FOR I = 1 TO N1
860 IF ZZ$ = "1" THEN 870 ELSE 890
870 PRINT TAB(15); I; TAB(30); Q(I)
880 GOTO 900
890 LPRINT TAB(15); I; TAB(30); Q(I)
900 NEXT I
910 IF ZZ$ = "1" THEN 915 ELSE 990
915 INPUT "devam icin bir tusa basiniz "; idevam
920 PRINT : PRINT "SONUC DUZELTME DEBISI= "; K1
925 PRINT 'ITERASYON SAYISI = "; K2
930 PRINT
940 PRINT "NOT : "
950 PRINT " NEGATIF DEBI CIKMASI "
960 PRINT " AKIS YONUNUN TERS ALINDIGINI GOSTERIR. "
970 PRINT
975 GOTO 1090
980 GOTO 1060
990 LPRINT " SONUC DUZELTME DEBISI= "; K1
995 LPRINT " ITERASYON SAYISI= "; K2
1000 LPRINT
1010 LPRINT " NOT : "
1020 LPRINT " NEGATIF DEBI CIKMASI "
1030 LPRINT " AKIS YONUNUN TERS ALINDIGIGINI GOSTERIR. "
1035 GOTO 1090
1040 PRINT
1060 C1 = 10.675
1070 Q$ = "(m**3/s)"
1080 RETURN
1090 END

```

EK VI

LINEER PROGRAMLAMA İLE OPTİMİZASYON

```

10 'LINEAR PROGRAMMING MINIMIZATON'
20 DIM X(30, 20), X1(30, 20), E(30), B(30), V(20), A(20), Z(20), Z1(20), R(20)
30 PRINT "NAMEP";
40 INPUT N$
45 PRINT : INPUT "SONUCLARI YAZICIDAN ALMAK ICIN '1' ; EKRANDAN ALMAK ICIN '2'TU
50 PRINT "NO.VARBLs,NO.CONSTRAINT <=,=,>=";
60 INPUT N1, M1, M2, M3
70 M = M1 + M2 + M3
80 N = N1 + M1 + M2 + M3 * 2
90 FOR I = 1 TO M
100 FOR J = 1 TO N
110 B(J) = 0
120 X(J, I) = 0
130 NEXT J
140 NEXT I
150 PRINT "INPUT COEFS IN CONSTRAINTS IN ORDER <=,=,>="
160 FOR I = 1 TO M
170 PRINT "COEFS IN CONSTRAINT"; I
180 FOR J = 1 TO N1
190 PRINT "X"; J;
200 INPUT X(J, I)
210 NEXT J
220 J = N1
230 IF I > M1 THEN 280
240 X(J + I, I) = 1
250 V(I) = J + I
260 A(I) = B(J + I)
270 GOTO 390
280 IF I > M2 + M1 THEN 340
290 X(J + I, I) = 1
300 B(J + I) = 99999999
310 V(I) = J + I
320 A(I) = B(J + I)
330 GOTO 390
340 X(J + I, I) = -1
350 X(J + M3 + I, I) = 1
360 B(J + M3 + I) = 99999999
370 V(I) = J + M3 + I
380 A(I) = B(J + M3 + I)
390 NEXT I
400 FOR I = 1 TO M
410 PRINT "RHS"; I;
420 INPUT Z(I)
430 NEXT I
440 PRINT "OBJ FN COEFS FOR MINIM,1-"; N1
450 FOR J = 1 TO N1
460 PRINT "OBJ.COEF.X"; J;
470 INPUT B(J)
480 NEXT J
490 FOR J = 1 TO N
500 E(J) = B(J)
510 FOR I = 1 TO M
520 E(J) = E(J) - X(J, I) * A(I)
530 NEXT I
540 NEXT J
550 E2 = 0
560 FOR J = 1 TO N
570 IF E(J) >= E2 THEN 600
580 E2 = E(J)

```

```

590 J2 = J
600 NEXT J
610 IF E2 >= 0 THEN 930
620 FOR I = 1 TO M
624 IF Z(I) > 0 THEN 630
626 Z(I) = .00001
630 IF X(J2, I) <> 0 THEN 650
640 X(J2, I) = .0000001
650 R(I) = Z(I) / X(J2, I)
660 NEXT I
670 R2 = 999999999999#
680 FOR I = 1 TO M
690 IF R(I) <= 0 THEN 730
700 IF R(I) >= R2 THEN 730
710 R2 = R(I)
720 I2 = I
730 NEXT I
740 FOR I = 1 TO M
750 Z1(I) = Z(I)
760 FOR J = 1 TO N
770 X1(J, I) = X(J, I)
780 NEXT J
790 NEXT I
800 FOR I = 1 TO M
810 Z(I) = Z1(I) - Z1(I2) * X1(J2, I) / X1(J2, I2)
820 FOR J = 1 TO N
830 X(J, I) = X1(J, I) - X1(J, I2) * X1(J2, I) / X1(J2, I2)
840 NEXT J
850 NEXT I
860 Z(I2) = Z1(I2) / X1(J2, I2)
870 FOR J = 1 TO N
880 X(J, I2) = X1(J, I2) / X1(J2, I2)
890 NEXT J
900 A(I2) = B(J2)
910 V(I2) = J2
920 GOTO 490
930 B2 = 0
940 FOR I = 1 TO M
950 B2 = B2 + A(I) * Z(I)
960 NEXT I
970 PRINT "LP OPTIMZN "; N$
980 PRINT "VARIABLE , MAGNITUDE , COST COEF"
990 FOR I = 1 TO M
1000 PRINT TAB(0); V(I); TAB(15); Z(I); TAB(30); A(I)
1020 NEXT I
1030 PRINT "COST="; B2
1036 IF A$ = "1" THEN 1037 ELSE 1050
1037 LPRINT "LP OPTIMZN "; N$
1038 LPRINT "VARIABLE, MAGNITUDE, COST COEF"
1039 FOR I = 1 TO M
1040 LPRINT TAB(0); V(I); TAB(15); Z(I); TAB(30); A(I)
1042 NEXT I
1044 LPRINT "COST="; B2
1050 STOP
1060 END

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 25.11.1966
Doğum Yeri Antalya
Lise Özel Antalya Lisesi , 1980-1983
Üniversite Yıldız Teknik Üniversitesi , 1985-1991
Yüksek Lisans Yıldız Teknik Üniversitesi , 1993

