

KABLOLU SİSTEMLERİN STATİK HESABI

Ayhan Nuhoğlu

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliđi Uyarınca
İnşaat Mühendisliđi Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Doç. Dr. Ahmet Topçu

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
MERKEZ KÜTÜPHANESİ

Ağustos - 1990

Ayhan NUHOĞLU'nun YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kablolu Sistemlerin Statik Hesabı " başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

17 EYLÜL 1990

Üye : Prof. Ruhi AYDIN

Üye : Doç. Dr. Ahmet TOPCU

Üye : Y. Doç. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 19 EYLÜL 1990
gün ve 254/5 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

ÖZET

Kablolu asma sistemlerin kullanımı ve statik analizi hakkında genel bilgiler verilmiş ve bu tür sistemlerin hesabını yapan bir yöntem açıklanarak, yöntemi içeren bir bilgisayar hesap programı sunulmuştur.Çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, kablolu taşıyıcı sistemlerin kullanım amacı, çeşitleri, tasarımı, boyutlandırılması ve inşası ile ilgili genel bilgiler verilmektedir.

İkinci bölüm, bu tür sistemlerin statik analizi ile ilgilidir.Literatürdeki bazı çözüm yöntemleri özet olarak anlatılmaktadır.Özellikle sonlu elemanlar notasyonunun kullanıldığı çözüm yöntemlerini içeren bu bölümde, lineer olmayan sistemlerin hesabında kullanılan iterasyon işlemi hakkında genel bilgi verilmiştir.

Kablolu asma sistemlerin statik analizi ile ilgili bir yöntemin açıklandığı üçüncü bölümde, sözkonusu yöntem esas olarak hazırlanmış ve sonlu elemanlar deplasman metodu ilkelerinin kullanıldığı bir bilgisayar hesap programı verilmiştir.

Dördüncü bölümde, çeşitli kaynaklarda da çözülmüş olan bazı örnekler,yukarıda sözü edilen bilgisayar programı ile çözülmüş ve sonuçlar mukayeseli olarak sunulmuştur.Beşinci bölümde ise sonuçlar tartışılmıştır.

SUMMARY

In this study, general information about the usage of the suspended cable systems and a method for their statical analysis are given. A computer program is also presented for the method. This study includes five chapters.

In the first chapter, general informations are given on the advantages of the suspended cable systems, the various types of them, their designs and constructions.

The second chapter is related to the statical analysis of the such systems. Some solutions techniques are summarized from the literature. An informative knowledge about the iteration techniques which are used in the analysis of nonlinear systems are included. This chapter includes finite element solution techniques of such systems.

Third chapter consists of a computer program which uses the displacement method of finite element techniques subjected in the second chapter.

Some problems are solved accordingly and the results are compared with the others in literature in the fourth chapter. In the fifth chapter the results are discussed.

ÖNSÖZ

Yapı mühendisliğinde, ekonomiklik, güvenlilik ve estetiklik aranan önemli faktörlerdir. Özellikle teknolojinin gelişmesine paralel olarak yapı çeşitlerinde de olumlu değişiklikler ve gelişmeler meydana gelmiştir ki kablolu asma taşıyıcı sisteme sahip yapılar bunlara güzel örnektir.

Bilgisayarların mühendislik hesaplarında kullanılmasıyla beraber, sonlu elemanlar deplasman metodu bir çok dalda uygulama alanı bulmuştur. Bu tez çalışmasında, asma kabloların statik analizini incelerken kullandığımız sonlu elemanlar deplasman metodu oldukça yeni ve bilgisayar ile hesap gerektiren bir metoddur. Burada verilmiş olan, asma sistemlerin statik hesabı ile ilgili bilgisayar programı AMSTRAD CPC 6128 bilgisayarında test edilmiştir.

Çalışmalarında sürekli yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Ahmet TOPÇU 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayhan NUHOĞLU
Ağustos 1990

İÇİNDEKİLER

sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖNSÖZ	vi
1. KABLOLU TAŞIYICI SİSTEMLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Asma Sistemlerin Çeşitleri	1
1.3. Kablo Sistemlerin Tasarımı Ve Boyutlandırılması	4
1.4. Kablo Yapıların İnşası	5
2. KABLOLU SİSTEMLERİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	6
2.1. Giriş	6
2.2. Sonlu Elemanlar Notasyonu	7
2.3. Literatürdeki Bazı Çözüm Yöntemleri	9
3. ASMA KABLOLU SİSTEMLERİN HESABI İÇİN BİR YÖNTEM	20
3.1. Giriş	20
3.2. Palkowski-Kozlowska Yöntemi	20
3.3. Program Hakkında Bazı Bilgiler	25
3.4. Verilerin Hazırlanması	27
4. ÖRNEKLER	30
5. SONUÇ	39
KAYNAKLAR DİZİNİ	40

EKLER

1. Bilgisayar için hesap programı
2. Örnek 1. için bilgisayar programı verileri ve çıktıları
3. Örnek 2. için bilgisayar programı verileri ve çıktıları
4. Örnek 3. için bilgisayar programı verileri ve çıktıları
5. Örnek 4. için bilgisayar programı verileri ve çıktıları
6. JAYARAMAN KNUDSON metoduna ait bilgisayar programı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil

Sayfa

1.1. Tek eğrilikli asma çatılar	2
1.1.a. Tek eğrilikli tek tabakalı asma çatı	2
1.1.b. Tek eğrilikli çift tabakalı asma çatı	2
1.2. Radyal doğrultuda asılmış tek tabakalı tek eğrilikli asma çatı ..	2
1.3. Kablo ağı biçiminde çift eğrilikli asma çatı	3
1.4. Izgara sistemle rijitlendirilmiş asma çatılar	3
1.5. Boğaziçi asma köprüsü	4
2.1. Düzlem bir kabloya ait yük - deplasman bağıntısı	6
2.2. Dış yükler altında basit kablo	7
2.3. İterasyon işlemleri sırasında kablo geometrisi	10
2.4. Sonlu kablo elemanı	11
2.5. Akış diyagramı	15
2.6. Sonlu kablo elemanının şekil değiştirmesi	17
2.7. Üç noktalı parabolik sonlu kablo elemanı	19
3.1. Uzay kablo sistemi	21
3.2. j noktasına ait alt sistem	21
3.3. m noktasına ait alt sistem	23
3.4. Örnek uzay kablo sistemi	26
4.1. Düzlem kablo sistemi (örnek 1.)	30
4.2. Örnek 2. için uzay kablo sistemi	32
4.3. Örnek 3. için verilen uzay kablo sistemi	34
4.4. Örnek 4. e ait asma çatı ve taşıyıcı kablo sistemi	37

TABLolar DİZİNİTabloSayfa

4.1. Örnek 1. e ait sonuçlar	31
4.2. Örnek 2. ye ait sonuçlar	33
4.3. Örnek 3. e ait düğüm noktası z koordinatları	35
4.4. Örnek 3. e ait sonuçlar	36
4.5. Örnek 4. için elde edilen sonuçlar	38

1. KABLULU ASMA TAŞIYICI SİSTEMLER

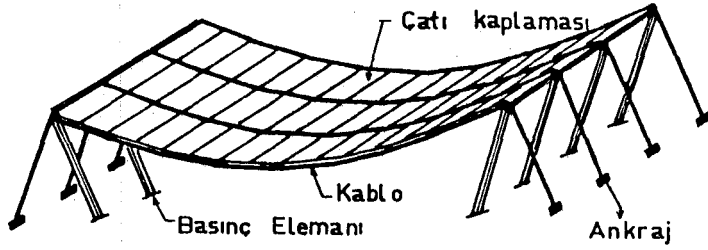
1.1. Giriş

Asma kablo sistemler, esas taşıyıcısı mesnet noktaları arasına asılmış ve sadece çekme kuvveti alabilen elemanlardan oluşan sistemlerdir.Spor salonu, stadyum, toplantı salonu pavyon ve asma köprü gibi geniş hacimlerin kapatılmasında ve büyük açıklıkların mümkün olduğu kadar az sayıda ara mesnet ile geçilmesi amacıyla kullanılırlar.

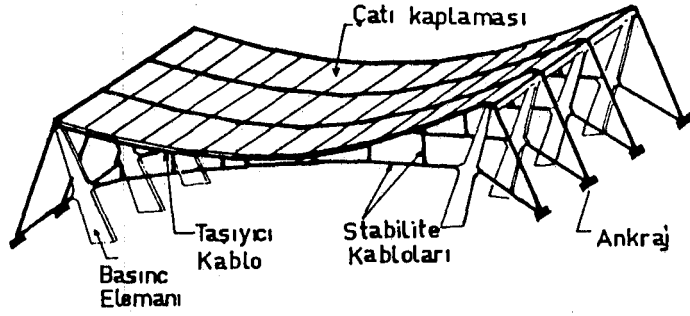
Tercih edilmelerindeki en büyük etken, estetik üstünlük ve ekonomiktir.Günümüzde çelikten yapılmış tel halatların kullanıldığı bu sistemlerde, kabloların, eğilme rijitliğinin çok küçük olması basınç kuvveti taşıyamaması nedeniyle, yerdeğiştirmeler büyük değerlere ulaşır.Aşırı deplasmanlar bu tür yapıların projelendirme,çözüm ve imalatını karmaşık bir hale getirmektedir.

2.1. Asma Sistemlerin Çeşitleri

Asma sistemler,kablo tabakalarının sayısına ve çatı örtüsünün eğriliğine göre sınıflandırılabilir[6]. Şekil 1.1.a. da tek eğrilikli tek tabakalı asma çatı, şekil 1.1.b. de ise tek eğrilikli çift tabakalı asma çatı görülmektedir.Asma sistemlerde olumsuz etki yapan rüzgar emmesi tesiri,sistem tek eğrilikli ise, çift tabakalı kablo düzenleri ile karşılanabilmektedir.



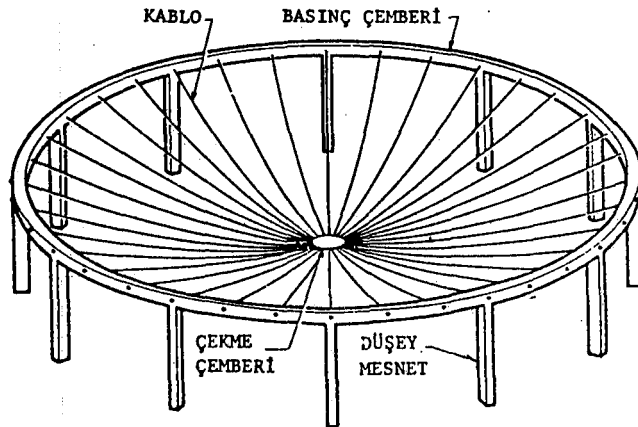
a. Tek eğrilikli tek tabakalı asma çatı



b. Tek eğrilikli çift tabakalı asma çatı

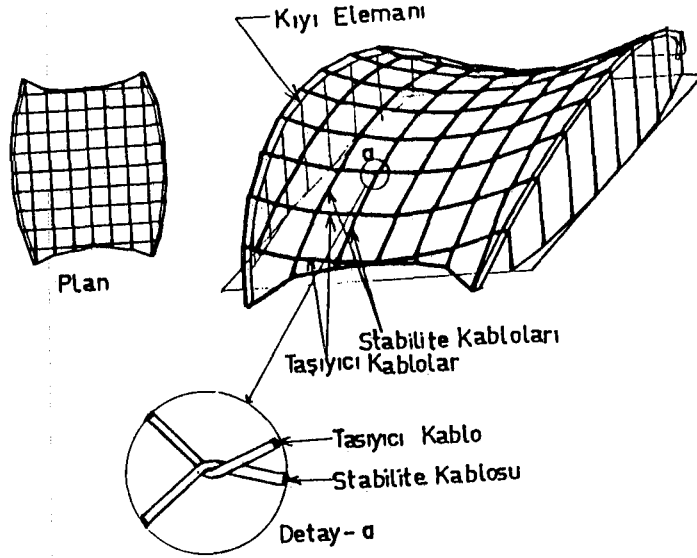
Şekil 1.1. Tek eğrilikli asma çatılar.

Çift eğrilikli tek tabakalı asma sistemlerde, sistem daire planlı ise, içte çekme çemberi, dışta basınç çemberi ve bu çemberler arasında radyal doğrultuda yer alan taşıyıcı kablolar başlıca elemanları oluştururlar (Şekil 1.2.). Özellikle büyük açıklıklar geçildiğinde çatının stabilitesini artırmak için çift tabakalı sistemler kullanılır [6,12]. Örneğin, radyal şeklinde düzenlenmiş çift tabakalı asma çatıya sahip olan Salt Lakey City Eyalet Oditoryumu 108 metre çapındadır ve çatının üst tabakasında 6 santimetrekarelik ,alt tabakasında 4 santimetrekarelik 108 er adet kablo kullanılmıştır [12].



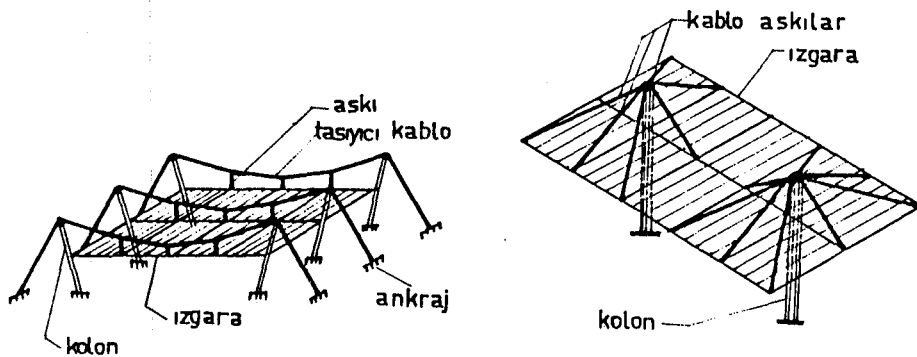
Şekil 1.2. Radyal doğrultuda asılmış tek tabakalı tek eğrilikli asma çatı.

Kablo ağı biçiminde düzenlenen çift eğrilikli asma sistemler, zıt eğrilikte ve birbirini genellikle dik kesen kablo elemanlarının oluşturduğu hiperboloid bir yüzeye sahiptirler. Şekil 1.3. te görülen bu tür asma sistemlerde, bir grup kablo sistem yükünü taşıırken diğer bir grup taşıyıcı kabloların stabilitesinin sağlanması ve öngerilme verilmesi amacıyla kullanılırlar. Böylece sistem rijitliği ve stabilitesi artırılmış olur. Kablo ağı şeklindeki asma çatıya sahip olan Tokyo kapalı Olimpiyat Stadındaki en büyük açıklık 126 metredir [6].



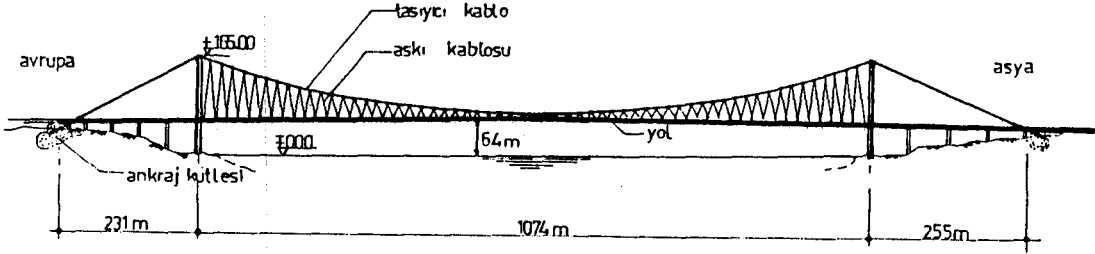
Şekil 1.3. Kablo ağı biçiminde çift eğrilikli asma çatı

Asma çatı ve asma köprü gibi kablo askılı yapılarda kablo, askı veya gergi elemanı görevi yapar. Izgara sistemlerle rijitlendirilmiş asma sistemler bina çatısı olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. Izgara sistemle rijitlendirilmiş asma çatılar

Özellikle büyük açıklıkların geçildiği asma köprülerin yapımında kullanılan kablolar önemli yapı elemanlarıdır (Şekil 1.5.). İngilteredeki Humber asma köprüsü 1410 metrelik açıklığa sahiptir [6]. Ülkemizdeki asma köprülerden olan Boğaziçi Köprüsünün yatay açıklığı 1074 metre, kullanılan kablonun kesit alanı 0.206 metrekaredir [4], (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Boğaziçi asma köprüsü.

Uygulamadaki asma köprülere ait örnekler için geniş bilgi kaynak [6,12] de mevcuttur.

1.3. Kablolu Sistemlerin Tasarımı Ve Boyutlandırılması

Kablo asma yapıların tasarımında, ekonomikliliğin ve sistem rijitliğinin artırılması amacıyla bazı geometrik karakteristikler ön planda tutulur. Kablo okunun kablo açıklığına oranı, çatılarda 1/15 - 1/20, asma köprülerde 1/8 - 1/12 arasında değişebilir. İstanbul Boğaziçi Köprüsünde bu oran yaklaşık 1/11 dir Yapının tavan yüksekliği sabit tutulduğunda, kablonun sarkması artırılsa yapının mesnet yüksekliği, dolayısıyla yapı maliyeti artar. Bunun yanında sarkmanın artması sistem rijitliğini ve sonuçta da stabilizeyi artıracaktır. Çift tabakalı düzlem kablo sistemlerde üst kablolar birinci dereceden taşıyıcı olduklarından üst kabloların oku alt kablolarla oranla daha büyük tutulur [6], (Şekil 1.1.b.).

Kablolu asma sistemlerin boyutlandırılmasında gözönünde tutulacak yükler; zati, hareketli, kar, rüzgar, dinamik, sünme, ısı etkisi, montaj bozuklukları ve öngerilme yükleri olarak sıralanabilirler. Boyutlandırmada kablo kesitleri, kopma mukavemeti gözönünde tutularak saptanır. Burada esas olan, Bu kopma mukavemetinin, belirli yük faktörleri ile artırılmış yüklerin en kritik

kombinasyonlarını karşılayabilecek miktarda olmasını sağlamaktır. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi, çelik kabloların yapılarda kullanılması ile ilgili esasları içeren standart AISI (Manual For Applications Of Steel Cables For Buildings) tarafından hazırlanmıştır [12].

Asma yapılarda kullanılan çelik kablo malzemesine ait minimum çekme mukavemeti 15900 kg/cm^2 , minimum elastisite modülü 1700000 kg/cm^2 dir [12].

Asma sistemlerde çatı kaplaması olarak çeşitli profildeki hafif metal, alüminyum alaşım veya çelik malzemeler, hafif betonarme plaklar, ahşap malzeme veya transparentelyafli plastik malzeme kullanılabilir. Ayrıca su ve ısı yalıtımı için çeşitli izolasyon malzemeleri de ek olarak kullanılmaktadır.

1.4. Asma Yapıların İnşası

Kablolu asma yapıların inşası, kablo elemanlarının esnek bir yapıya sahip olmalarından dolayı ve öngerilme kuvvetlerinin verilmesinden dolayı dikkat gerektirir. Genelde asma yapıların imalatında şu aşamalar takip edilir;

- 1- Kablo mesnetleri teşkil edilir.
- 2- Kablolar yerleştirilir ve ilk konum ayarlanır.
- 3- Kablo sisteminde taşınacak çatı kaplaması ve diğer sabit yükler, tam bir tesbit yapılmaksızın taşıyıcı sisteme yüklenir ve bu durumda kablolar son bir düzeltmeye tabi tutulur.

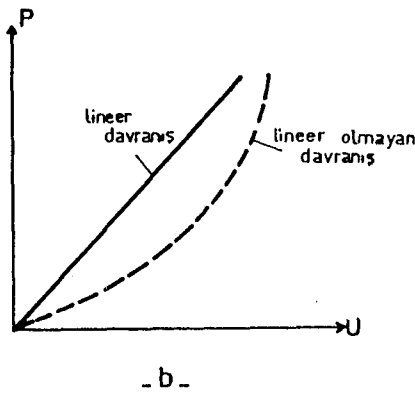
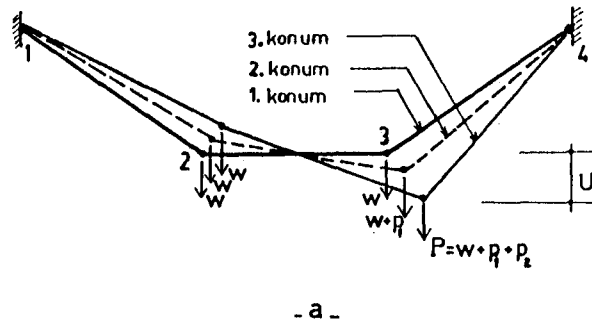
Kablolar asılmadan önce, sabit yük çekmesi altında kablonun burulmamış durumunu gösteren uzunlamasına bir doğru ile çizilir ve boylar ölçülerek ara bağlantıların nereye yapılacağı, özel uç parçalarının nerelere takılacağı işaretlenir. Asılmaya hazır olan kablolar son yerlerinin izdüşümünde yere serilirler ve bir uç ankraj edilerek gerilme işlemine başlanır. Öngerilme kuvveti ya doğrudan doğruya ayarlanmış bir aletle ölçülerek veya detaylı olarak ankraj ve sehim durumlarının ayarlanmasıyla bulunur.

Ağ sistemlerde, önce taşıyıcı kablolar yerleştirilir ve yerleri ayarlanır. Taşıyıcı kablolar dik doğrultudaki stabilite kablo sistemi yerleştirildikten sonra bu kablolar çekme kuvveti uygulanarak öngerilme verilir. Bu konuda daha geniş bilgi kaynak [12] den alınabilir.

2. KABLOLU SİSTEMLERİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Kablolu sistemlerin analizi, kablo taşıyıcı sistemin lineer olmayan yük - deplasman davranışı göstermesinden dolayı, diğer yapı sistemlerine oranla daha karmaşık ve zaman alıcıdır. Şekil 2.1.a. daki gibi düzlem bir kablonun 2 ve 3 nolu noktalarına uygulanacak şekildeki yüklemeye sonunda meydana gelecek yük - deplasman ilişkisi şekil 2.1.b. de kesik çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Düzlem bir kabloya ait yük - deplasman bağıntısı.

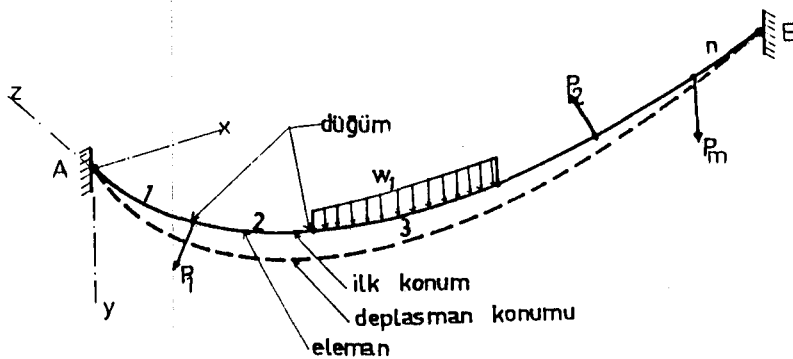
Geometrik lineer olmayan bir yapıya sahip olan bu sistemlerin statik ve dinamik analizleri nonlinear teoriye göre yapılmalıdır. Hesaplarda kablolar, yalnızca çekme kuvveti alabilen, eğilme rijitliği olmayan elemanlar olarak düşünülürler ve sonuca bir iterasyon yöntemi dahilinde ulaşılır.

Genelde asma sistemlerin statik hesabı esas olarak iki aşamada gerçekleştirilebilir. Öncelikle sistemin kablo zati ağırlığı, öngerilme kuvveti gibi başlangıç yükleri altındaki ilk konumu belirlenir. Daha sonra dış yüklemelerden (hareketli yük), ısı ve mesnet durumlarındaki değişikliklerden doğacak olan deplasmanlar ve kablo kuvvetleri hesaplanır.

Kablo ile ilgili parametreler; kablo uzunluğu, öngerilme kuvvetleri, uygulanan yükler, nokta koordinatları ve malzeme ile ilgili özellikler bilindiği takdirde ilk konum bir ardışık yaklaşım işlemi ile bulunabilir. Sistemin ilk konumunun belirlenmesinden sonra, dış yükler altındaki hesap literatürdeki çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Asma kablo sistemlerin hesabı için klasik metodların yanında, özellikle bilgisayarın kullanıldığı, sistemi çeşitli kabuller yapıp sonlu elemanlara bölerek hesap yapan metodlar geliştirilmiştir.

2.2. Sonlu Elemanlar Notasyonu

Sonlu elemanlar notasyonunda, iki mafsal noktası arasına asılmış kablo, kabloya gelen yayılı tekil yüklerin konumuna göre, çeşitli sayıda sonlu kablo elemanlarından oluştuğu düşünülmektedir. Bu elemanların başlangıç ve bitiş noktaları; mafsal, tekil yük, yayılı yük başlangıç ve bitişi ile kablo elemanlarındaki kesit değişimlerinin meydana geldiği, yani sürekliliğin bozulduğu noktalardır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Dış yükler altındaki basit kablo

Şekil 2.2. deki gibi süreksiz noktalarla belirlenmiş elemanlardan oluştuğu düşünülen sonlu kablo elemanları için şu iki koşulun sağlanması gereklidir;

-Kabloyu oluşturan tüm sonlu parçalar dengededir.

-Tüm elemanların deplasman ve deformasyonları kablo reaksiyonlarının oluştuğu mesnetlerin geometrisi ile uyum içerisinde olmalıdır.

Bu koşullar sonucunda, kablo ile ilgili parametrelere bağlı olarak, lineer olmayan gerilme - şekil değiştirme bağıntıları yardımıyla birtakım eşitlikler elde edilir. Bu eşitlikler mevcut yükleme durumuna göre çözülür ve işlemlere belirli bir sistematik hareket dahilinde birbirini izleyen yaklaşımlarla devam edilir.

Genel olarak sonlu elemanlar deplasman metodu çözümü kullanılır. Bu durumda üç değişik problemle karşılaşılır. Problem lineer olmadığından;

- a. Geometrik lineer olmayan çözüm,
- b. Malzeme bakımından nonlineer çözüm,
- c. Geometrik ve malzeme bakımından nonlineer çözüm,

gibi değişik yöntemler uygulanır. Kablolu sistemlerde oluşacak deplasmanlar çok büyük olduğundan yalnız geometrik nonlineer çözüm kullanılır. Geometrik nonlineer problemin çözümünde yük - deplasman ilişkisi lineer olmadığından, lineer çözümden yararlanılarak iterasyon ile yavaş yavaş çözüme varılır. İterasyon işlemlerinin değişik uygulama şekli olmakla beraber aşağıda verilen adımlar en çok kullanılanıdır [2].

1- Bir önceki adımda hesaplanmış olan global sistem deplasmanları \underline{D} vektörü ve lokal deplasmanları $\hat{\underline{d}}$ vektörü ile gösterilirse,

$$\hat{\underline{r}} = -\hat{\underline{k}}\hat{\underline{d}} \quad (2.1)$$

ile elemanın bağlı olduğu düğümlere uyguladığı iç kuvvetler hesaplanır. Burada $\hat{\underline{k}}$ elemanların lokal (tanjant) rijitlik matrisi, $\hat{\underline{r}}$ lokal iç kuvvetler matrisidir.

2- $\hat{\mathbf{k}}$ ve $\hat{\mathbf{r}}$ global koordinatlara transforme edilirler.

$$\mathbf{K} = \mathbf{I}^T \hat{\mathbf{k}} \mathbf{I} \quad \text{ve} \quad \mathbf{R} = \mathbf{I}^T \hat{\mathbf{r}} \mathbf{I} \quad (2.2)$$

3- 1. ve 2. adım bütün elemanlar için tekrarlanarak sistem rijitlik matrisi \mathbf{K} ve düğümlere etkiyen kuvvetlerin vektörü \mathbf{R} hesaplanır.

$$\mathbf{R} = \mathbf{P} - \mathbf{R}' \quad (2.3)$$

Burada, \mathbf{P} düğüm noktalarında verilmiş dış kuvvetler, \mathbf{R}' eleman kuvvetlerinin düğümlere aktardığı global kuvvetlerdir

$$|\mathbf{P}| = \epsilon \quad (2.4)$$

ise iterasyona son verilir. ϵ tolerans vektörüdür.

4- Sistem denklem takımı çözülerek bu iterasyon adımıdaki deplasman artışı hesaplanır;

$$\mathbf{K} \Delta \mathbf{D} = \mathbf{R} \quad (2.5)$$

5- Sistem deplasmanları;

$$\mathbf{D} = \mathbf{D} + \Delta \mathbf{D} \quad (2.6)$$

6- 1. adıma dönülerek iterasyona yeni geometri ile devam edilir.

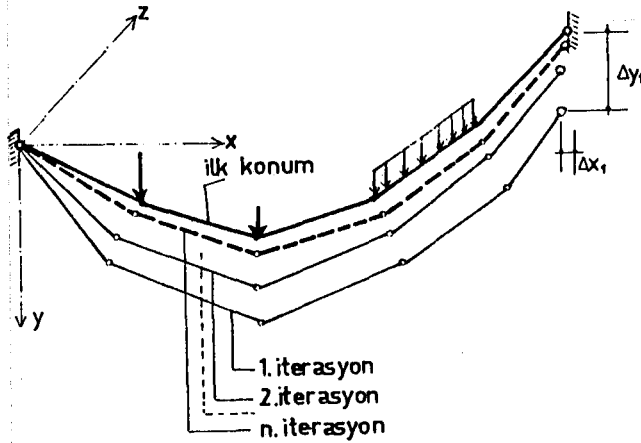
2.3. Literatürdeki Bazı Çözüm Yöntemleri

Sadece kablolu sistemlerin çözümü için geçerli olan değişik yöntemler bir çok yazar tarafından verilmiştir [7,5,1,3].

Terence O'BRIEN [7] tarafından 1967 de yapılan bir çalışmada asma kablo problemlerin çözümüne ait bir esneklik metodu sunulmuştur. Bu metotta kablolar, şekil 2.2. de görüldüğü gibi, mevcut süreksizlikler nedeniyle sonlu elemanlara bölünmüştür.

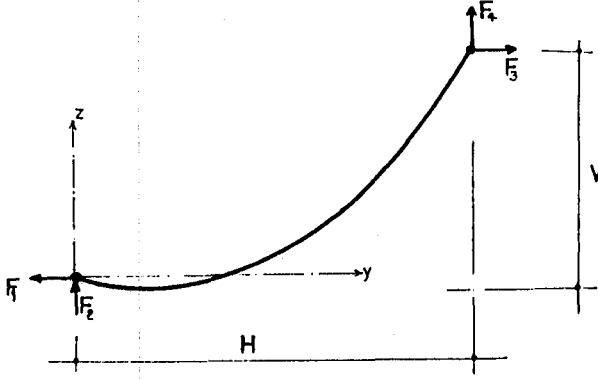
Çözümlemeye en uçtaki kablo elemanlarından birine ait kablo kuvveti bileşenlerinin tahmin edilmesiyle başlanmaktadır. Tahmin kuvvetlerinin ve mevcut yüklemenin neden olacağı deplasmanlar,

kablo elemanlarının eksenlerle yaptığı açılar cinsinden bulunmaktadır. Bulunan değerlere bağlı olarak bitişik kablo elemanının hesabına geçilmekte ve bu elemanın alacağı yeni şekil ve kablo kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu işleme zincirleme olarak devam edilmekte ve nihayet diğer uçtaki kablo elemanının konumu elde edilmektedir. Mesnede bağlı olan bu son kablo elemanının, mesnet tarafındaki ucuna ait bulunan yeni koordinatın, sabit mesnet koordinatları ile olan uygunluğu, verilen tolerans sınırı ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonunda, sabit kalması gereken mesnet koordinatı ile yeni bulunan koordinat arasındaki fark mutlak değerce bulunmaktadır. Bulunan farkın, önceden verilen tolerans sınırından büyük olması halinde bir takım düzeltme formülleri kullanılarak, ilk kablo için yeni tahmin kuvvetleri elde edilmektedir. Bu yeni kuvvetlere göre aynı hesaplar tekrar edilmekte ve iterasyon işlemine, tolerans sınırının dahilinde kalıncaya kadar devam edilmektedir. Şekil 2.3. te iterasyon işlemleri sırasında kablonun alabileceği konumlar gösterilmektedir.



Şekil 2.3. İterasyon işlemleri sırasında kablo geometrisi.

H.B.JAYARAMAN ve W.C.KNUDSON [5] tarafından 1961 de yapılan bir çalışmada kablolar, kablo elemanlarının zincir halkası şeklinde birleştirilmesi ile teşkil edilmiş ve bu kablo elemanlarının nonlinearityi de nazara alan rijitlik matrisi ve uç kuvvetlerine ait bağıntılar verilmiştir. Şekil 2.4. deki gibi bir kablo elemanı için bağıntılar aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 2.4. Sonlu kablo elemanı.

Kablo elemanının geometrisi,

$$L^2 = V^2 + H^2 \frac{\text{Sinh}^2 \Lambda}{\Lambda^2} \quad (2.7)$$

$$\Lambda = \frac{w|H|}{2|F_1|} \quad (2.8)$$

ile tanımlanmıştır. Şekil 2.4. den F_2 kablo kuvveti bileşeni,

$$F_2 = \frac{w}{2} \left[-V \frac{\text{Cosh} \Lambda}{\text{Sinh} \Lambda} + L \right] \quad (2.9)$$

eşitliği ile bulunur. Kablo elemanının yatay açıklığı ve uçlar arasındaki kot farkı,

$$H = -F_1 \left[\frac{L_u}{EA} + \frac{1}{w} \text{Log} \frac{F_4 + T_J}{-F_2 + T_I} \right] \quad (2.10)$$

$$V = \frac{1}{2EAw} [T_J^2 - T_I^2] + \frac{T_J - T_I}{w} \quad (2.11)$$

uzamış kablunun boyu,

$$L = L_u + \frac{1}{2EAw} \left[F_4 T_J + F_2 T_1 + F_1^2 \text{Log} \frac{F_4 + T_J}{T_1 - F_2} \right] \quad (2.12)$$

eşitlikleri ile verilmiştir. F_1 ve F_2 kuvvetlerine bağlı olarak, F_3 ve F_4 kablo kuvveti bileşenleri,

$$F_4 = -F_2 - w Lu \quad (2.13)$$

$$F_3 = -F_1 \quad (2.14)$$

I ve J uçlarındaki kablo kuvvetleri,

$$T_1 = (F_1^2 + F_2^2)^{1/2} \quad (2.15)$$

$$T_J = (F_3^2 + F_4^2)^{1/2} \quad (2.16)$$

bağıntıları ile bulunur.

Çözümüne başlarken kullanılacak olan F_1 ve F_2 Kablo kuvveti bileşenlerinin ilk değerleri, F_{10} ve F_{20} şu eşitliklerle bulunmaktadır;

$$F_{10} = -\frac{w H}{2\Lambda_0} \quad (2.17)$$

$$F_{20} = \frac{w}{2} \left(-V \frac{\text{Cosh}\Lambda_0}{\text{Sinh}\Lambda_0} + L_u \right) \quad (2.18)$$

Burada Λ_0 ,

$$\Lambda_0 = \sqrt{3 \left(\frac{L_u^2 - V^2}{H^2} - 1 \right)} \quad (2.19)$$

eşitliği ile bulunmaktadır.

İterasyon işlemleri sırasında kullanılan düzeltme formülleri şu eşitliklerle verilmiştir;

$$F_1^{i+1} = F_1^i + \delta F_1^i = F_1^i + \alpha_1^i \delta H^i + \alpha_2^i \delta V^i \quad (2.20)$$

$$F_2^{i+1} = F_2^i + \delta F_2^i = F_2^i + \alpha_3^i \delta H^i + \alpha_4^i \delta V^i \quad (2.21)$$

$$\delta H^i = \xi_1^i \delta F_1^i + \xi_2^i \delta F_2^i \quad (2.22)$$

$$\delta V^i = \xi_3^i \delta F_1^i + \xi_4^i \delta F_2^i \quad (2.23)$$

$$\xi_1^i = \frac{H^i}{F_1^i} + \frac{1}{w} \left[\frac{F_4^i}{T_J^i} + \frac{F_2^i}{T_I^i} \right] \quad (2.24)$$

$$\xi_2^i = \xi_3^i = \frac{F_1^i}{w} \left[\frac{1}{T_J^i} + \frac{1}{T_I^i} \right] \quad (2.25)$$

$$\xi_4^i = -\frac{L_u}{EA} - \frac{1}{w} \left[\frac{F_4^i}{T_J^i} + \frac{F_2^i}{T_I^i} \right] \quad (2.26)$$

$$\alpha_1^i = \frac{\xi_4^i}{d_i} \quad \text{ve} \quad \alpha_2^i = \frac{\xi_3^i}{d_i} \quad (2.27)$$

$$\alpha_3^i = \frac{\xi_2^i}{d_i} \quad \text{ve} \quad \alpha_4^i = \frac{\xi_1^i}{d_i} \quad (2.28)$$

$$d_i = \alpha_1^i \alpha_4^i - \alpha_2^i \alpha_3^i \quad (2.29)$$

Bu bağıntılarda,

A : Kablo elemanının kesit alanı.

E : Kablo malzemesinin elastisite modülü.

F_1, F_2 : Elemanın I ucundaki kablo kuvveti bileşenleri.

F_3, F_4 : Elemanın J ucundaki kablo kuvveti bileşenleri.

L : Elemanın I , J uçları arasındaki boyu (gerilmiş boy).

L_0 : Elemanın ilk boyu (gerilmemiş boy)

T_I, T_J : I ve J uçlarındaki kablo bileşke kuvveti.

V : I ve J noktaları arasındaki kot farkı.

H : I ve J Noktaları arasındaki yatay açıklık.

w : Kablonun birim boyunun ağırlığı.

i : İterasyon adımı.

λ : Kablo eğriliğine bağlı bir değer.

olarak tanımlanmıştır. JAYARAMAN ve KNUDSON yaptıkları bu çalışmada elemanların uç noktalarındaki kuvvet ve deplasmanlarda meydana gelecek olan artışlar arasındaki bağıntıyı aşağıdaki gibi bir rijitlik matrisi ile ifade etmişlerdir.

$$\begin{bmatrix} \delta F_x^I \\ \delta F_y^I \\ \delta F_z^I \\ \delta F_x^J \\ \delta F_y^J \\ \delta F_z^J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F_1/H & 0 & 0 & F_1/H & 0 & 0 \\ & -\alpha_1 & -\alpha_2 & 0 & \alpha_1 & \alpha_2 \\ & & -\alpha_4 & 0 & \alpha_2 & \alpha_4 \\ & & & -F_1/H & 0 & 0 \\ \text{simetrik} & & & & -\alpha_1 & -\alpha_2 \\ & & & & & -\alpha_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta u \\ \delta v \\ \delta w \\ \delta u \\ \delta v \\ \delta w \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

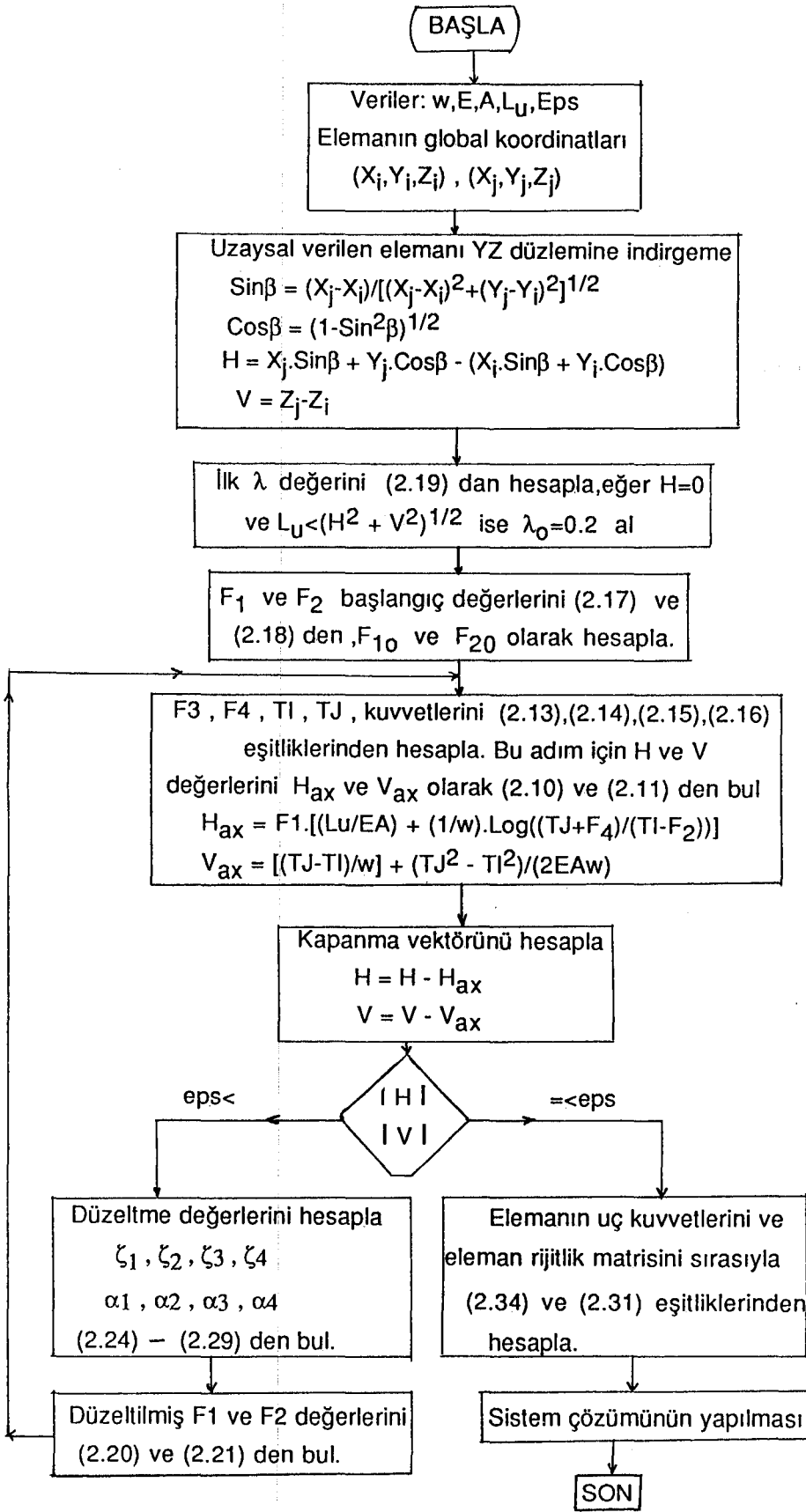
Burada F_x, F_y, F_z, u, v, w sırasıyla elemanların uç noktalarında x, y, z yönlerindeki kablo kuvveti bileşenlerini ve deplasmanları göstermektedir. Buradaki rijitlik matrisi lokal YZ düzleminde teşkil edilmiştir. Global koordinatlara transforme işlemi yapılırsa rijitlik matrisi şu formu almaktadır.

$$\underline{\underline{C}} = \begin{bmatrix} \underline{\underline{C}} & -\underline{\underline{C}} \\ -\underline{\underline{C}} & \underline{\underline{C}} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Burada $\underline{\underline{C}}$,

$$\underline{\underline{C}}_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} -\frac{F_1}{H} m^2 - \alpha_1 l^2 & \frac{F_4}{H} l m - \alpha_1 m & -\alpha_2 l \\ \text{simetrik} & -\frac{F_1}{H} l^2 - \alpha_1 m^2 & -\alpha_2 m \\ & & -\alpha_4 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

olarak tarif edilmiştir ve,



Şekil 2.5. Akış Diyagramı

$$l = \sin\beta \quad \text{ve} \quad m = \cos\beta \quad (2.33)$$

dir.

Lokal koordinatlarda eleman uç kuvvetleri transforme sonucunda aşağıdaki kuvvet vektörü ile teşkil edilmiştir.

$$B = \begin{bmatrix} -F_1 \cdot l \\ -F_2 \cdot m \\ -F_2 \\ -F_3 \cdot l \\ -F_3 \cdot m \\ -F_4 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Buradaki rijitlik matrisinde kullanılan değerlerin bulunmasına ait hesap sırası ve iterasyon işlemi yukarıda verilen akış diyagramı ile açıklanmıştır (Şekil 2.5.). Ayrıca sözkonusu hesabı içeren bilgisayar hesap programı Ek-6 da verilmiştir.

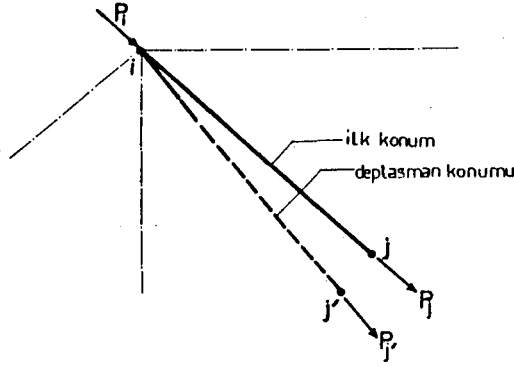
Frank BARON ve Mahadeva S. VENKATESAN [1] 1971 de yaptıkları bir çalışmada, düşey yükler altındaki asma kablo sistemlerin geometrik nonlineer analizi için bir metod geliştirmişlerdir. Çözüm yönteminde nonlineer teoriye esas direkt rijitlik yöntemi formülasyonu kullanılmaktadır. BARON ve VENKATESAN'ın yaptıkları çalışma, verilen bir yapının geometrisindeki değişikliklerin lineer olmayan tesirleri için yapılan hesaplamalardaki bir dizi tahmin ve düzeltmeler şeklinde ifade edilebilir. Tahminlerin elde edilmesinde tanjant rijitlik matrisi kullanılmakta ve ardışık ayarlamalar yapılarak yapının son boyutlarına uygun kuvvet ve deplasmanlar elde edilmektedir. Sözkonusu çalışmadaki hesap tarzı kısaca aşağıda açıklanmıştır.

Lineer elastik yapılarda yük ile deplasmanlar arasındaki bağıntı, sonlu elemanlar formunda, P yük vektörü, U deplasman vektörü olmak üzere ;

$$P = K_E U \quad (2.35)$$

eşitliği ile yazılmaktadır. Buradaki K_E , sistemin rijitlik matrisidir ve yapıyı oluşturan her bir elemanın dış yükler altındaki dengesine bağlı olarak elde edilir. Klasik teoride deplasmanların küçük olduğu düşünülmemekte

ve sistem için verilen ilk geometrideki elemanlarda oluşan iç kuvvetler, dış kuvvetlerle denge halindedir. Lineer olmayan teoriye göre yapıdaki deplasmanlar büyük olduğundan, (2.35) eşitliğindeki bağıntı sürekli olarak geçerli olmayacaktır. Çünkü gerilme - deplasman bağıntıları lineer değildir ve nokta denge denklemleri yapının deforme olmuş geometrisinde yazılmalıdır.



Şekil 2.6. Sonlu kablo elemanın şekil değiştirmesi.

Şekil 2.6. da gösterilen bir sonlu kablo elemanı dış yükler altında şekil değiştirirken, ardışık iki şekil değiştirmiş konumu 1 ve 2 indisleri ile gösterilirse,

$$P_{12} = K_{12} U_{12} \quad (2.36)$$

matris formundaki bağıntı yazılabilir. Burada; P_{12} 1 konumundan 2 konumuna gelinceye kadar yüklerdeki artışı, U_{12} 1 den 2 ye deplasmanlardaki artışı temsil etmektedir. K_{12} rijitlik matrisi U_{12} nin fonksiyonudur ve P_{12} kuvvet artışını veren secant rijitlik matrisi olarak tanımlanmıştır. İşte lineer olmayan sistemlerin analizi (2.35) bağıntısının çeşitli tekniklerle çözülmesi ile gerçekleştirilir ki tüm bu teknikler yapının son konumunu elde etmek için ardarda gelen tahmin ve düzeltmelerden ibarettir.

1 konumundan 2 konumuna gelinceye kadar meydana gelecek deplasman artışı, lineer ve lineer olmayan deplasmanların toplamı olacaktır. K_E lineer deplasmanları temsil eden rijitlik matrisi, K_G lineer olmayan deplasmanları yani geometrik şekil değiştirmeleri temsil eden rijitlik matrisi olmak üzere, K_T tanjant rijitlik matrisi şu toplamla tanımlanmıştır ;

$$\underline{K}_T = \underline{K}_E + \underline{K}_G \quad (2.37)$$

Sistemdeki geometrik değişiklikler kablo elemanlarının x, y, z eksenlerine göre yapacakları dönmelere göre ifade edilmekte ve elemanın geometrik rijitlik matrisini kurmak için o elemanın dönme değişimleri nokta denge denklemlerinde gözönünde tutulmaktadır. Buna göre sonuçta tanjant rijitlik matrisi bir dizi işlemden sonra aşağıdaki eşitlikle elde edilmiştir.

$$\underline{K}_T = \frac{AE}{L_0} \begin{bmatrix} L & L^* \\ L^2 \end{bmatrix} + \frac{P}{L} \begin{bmatrix} I & - \frac{L L^*}{L^2} \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

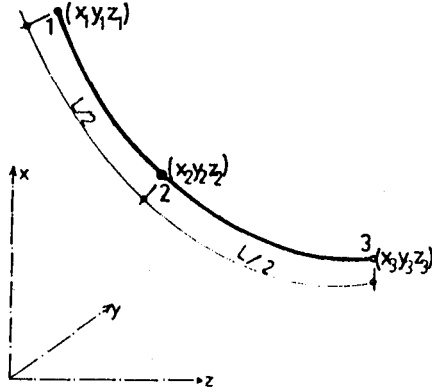
Bu eşitlikte, birinci terim elastik rijitlik matrisini, ikinci terim geometrik rijitlik matrisini temsil etmektedir. Burada, A kablo kesit alanı, E elastisite modülü, L_0 kablo elemanının ilk boyu, L kablunun mevcut iterasyon adımındaki boyu, P kablo kuvveti, I 3x3 boyutunda birim matris ve $L L^* / L^2$ kablo elemanındaki dönmeler cinsinden tanımlanmış yine 3x3 boyutunda bir matristir. \underline{K}_T matrisinin açık şekli kaynak [1] de verilmiştir.

Frank BARON ve Mahadeva S.VENKATESAN yaptıkları çalışmada teşkil ettikleri tanjant rijitlik matrisini kullanarak çeşitli çözümlene yöntemleri önermişlerdir. Bu çözüm teknikleri bir iterasyon işlemi dahilinde yapılmaktadır ve iterasyon işlemine tahmin edilen deplasmanlarla başlanmaktadır. Tahmin edilen deplasmanlara göre Şekil 2.6. da görülen kablo elemanının i ve j noktaları arasındaki şekil değiştirmeler nonlineer gerilme - şekil değiştirme bağıntıları ile hesaplanmaktadır. Bulunan şekil değiştirmelere bağlı olarak eleman kuvvetlerindeki değişme, ΔP , HOOK kanunlarından yararlanılarak hesaplanıp mevcut kablo kuvvetlerine eklenmektedir. Hesaplanan yeni kablo kuvvetlerine ve dış yüklerle göre düğüm noktalarında kuvvet denge denklemi yazılıp o noktaya ait kuvvet farkları, diğer bir deyimle dengeli bozan kuvvetler, P_{rem} ;

$$P_{rem} = P - P_{EQ} \quad (2.39)$$

olarak bulunmaktadır. Burada, P hesap yapılan noktadaki dış yükler, P_{EQ} tahmin edilen şekil değiştirme sonucunda oluşacak olan, yine noktaya ait global kablo kuvvetleridir. P_{rem} artan kuvvetlerin tolerans sınırı dahilinde kalıp kalmamasına göre işleme iteratif bir şekilde devam edilmektedir.

1988 yılında Y. M. DESAI [3] tarafından yapılan bir çalışmada kablolu taşıyıcı sistemlerin geometrik lineer olmayan analizi için değişik bir yöntem sunulmuştur. Genelde kablo elemanları noktalar arasında doğru parçası olarak alınırken bu yöntemde kablo elemanı üç noktadan oluşan parabolik eleman olarak düşünülmektedir (Şekil 2.7.). Çözümde, üç noktalı elemanın rijitlik matrisi kullanılmakta ve nonlineer terimler rijitlik matrisinin hesabında dikkate alınmaktadır.



Şekil 2.7. Üç noktalı parabolik sonlu kablo elemanı.

Bundan önceki çalışmalar, sadece lineer olmayan geometrik davranışı nazara alırken, 1970 yılında A. SAAFAN [9] tarafından yapılan bir çalışmada hem geometrik hem de malzeme nonlineer bağıntıları nazara alınarak sonlu elemanlara göre çözüm verilmektedir.

3. ASMA KABLO SİSTEMLERİN HESABI İÇİN BİR YÖNTEM

3.1. Giriş

Bu bölümde, kablolu asma sistemlerin statik analizi için basit bir yöntem verilmektedir. Yöntemin esası, 1988 yılında S. PALKOWSKI ve M. KOZLOWSKA tarafından yapılan bir çalışmada [8] yayınlanmıştır. Sözkonusu hesap yolunun özü, "PALKOWSKI - KOZLOWSKA Yöntemi" başlığı altında aşağıda anlatılmıştır.

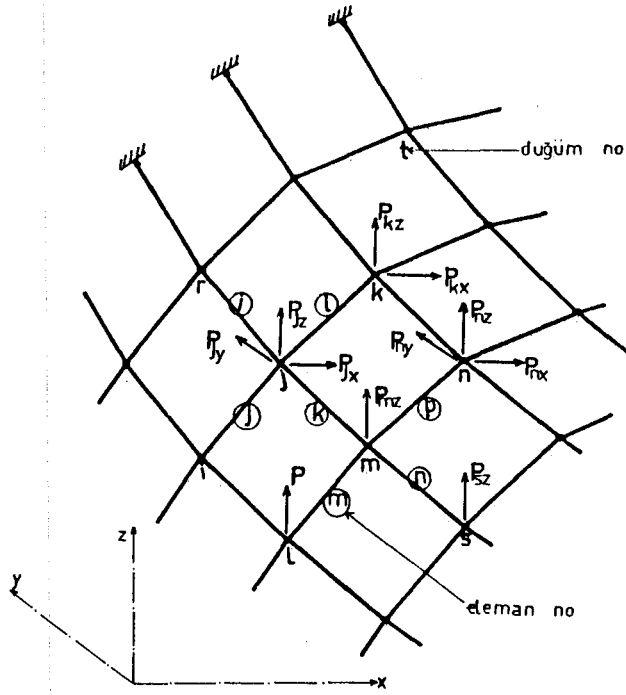
3.2. PALKOWSKI - KOZLOWSKA Yöntemi

PALKOWSKI - KOZLOWSKA yöntemi, klasik statikte çerçevelere uygulanan CROSS iterasyon metoduna benzerlik gösteren basit bir iterasyon yöntemi ile kablolu sistemleri çözmektedir [8]. Metodun esası, kablolu sistemin bir düğüm noktasını ele alarak bu noktada kurulan denge denklemlerinin çözülmesinden ve her noktada birbirinden bağımsız olarak bu işlemin bir iterasyon dahilinde tekrarlanmasından ibarettir. İterasyon işlemine bütün düğümlerde denge sağlanıncaya kadar devam edilmektedir.

Yöntem aşağıdaki kabulleri yapmaktadır;

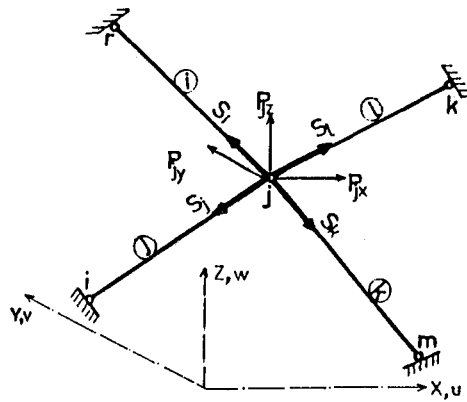
- a- Kablo elemanları düğümler arasında doğru eksenlidir.
- b- Kablo elemanının kesiti sabittir.
- c- Kablo elemanı sadece çekme kuvveti taşır.
- d- Bütün yükler düğüm noktalarında etkimektedir, kablo üzerinde dış yük yoktur.

e- Malzeme lineer elastik davranış gösterir.HOOK kanunları geçerlidir.



Şekil 3.1. Uzak kablo sistemi.

Yöntem, şekil 3.1. de verilen uzak kablo sisteminin üzerinde açıklanacaktır.Hesap, Herhangi bir düğüm noktasında (örneğin, j. noktada) başlar. j noktası hariç diğer bütün noktalar sabit mesnet gibi düşünülerek deplasmanlar tutulur. Bu durumda Şekil 3.2. da gösterilen alt sistem elde edilir.



Şekil 3.2. j noktasına ait alt sistem

Bu sistem, bütün elemanları bir düzlemde olmamak kaydıyla stabil bir sistemdir ve sadece j noktasında x, y, z yönlerinde sırasıyla u_j, v_j, w_j deplasmanlarına sahiptir. Serbestlik derecesi 3 tür. j düğümüne 3 ten fazla eleman bağlı ise sistem hiperstatik aksi halde izostatiktir. Alt sistemin bir kafes sistem gibi düşünülerek, denge denklemleri herhangi bir metoda göre kurulur. Burada sonlu elemanlar deplasman metodu tercih edilir. İterasyonun birinci adımında global denklem sisteminde katsayılar matrisi k_j^1 kafes giriş elemanının global rijitlik matrisi kullanılarak kurulur. j noktasının deplasman vektörü ;

$$\underline{U}_j^1 = [u_j \ v_j \ w_j]^T \quad (3.1.)$$

ve bu noktalardaki yük vektörü ;

$$\underline{P}_j^0 = [P_{jx} \ P_{jy} \ P_{jz}]^T \quad (3.2)$$

olduğuna göre denklem sistemi ;

$$k_j^1 \underline{U}_j^1 = \underline{P}_j^0 - \underline{S}_j \quad (3.3)$$

olur. \underline{S}_j bu düğümdeki elemanların global iç kuvvet vektörüdür. \underline{S}_j başlangıçta, varsa öngerilme kuvvetlerine eşit, aksi halde sıfırdır. k_j^1 nin boyutu 3×3 tür. Denklem sistemi çözülerek \underline{U}_j^1 hesaplanır. Deplasmanları hesaplanan düğüm noktasının hesap öncesi ilk koordinatları \underline{X}_j^0 , ise yeni koordinatları ,

$$\underline{X}_j^1 = \underline{X}_j^0 + \underline{U}_j^1 \quad (3.4)$$

olacaktır. Elemanlardaki boy değişimi koordinatlar yardımıyla hesaplanabilir. Bu düğümüne bağlı, örneğin k nolu elemanda Δk boy değişimi ;

$$\Delta k^1 = L_k^0 - L_k^1 \quad (3.5)$$

dir. L_k^0 elemanın hesap öncesi ilk boyunu, L_k^1 ise 1. iterasyon adımında ve j düğümünde (3.3) ve (3.4) çözümleri sonucunda, k nolu

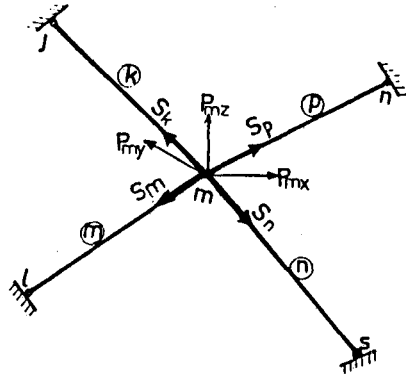
elemanın koordinatlarının değişmesi ile oluşacak yeni boyudur. Aynı elemandaki S_k^1 iç kuvveti şu eşitlikle bulunmaktadır ;

$$S_k^1 = S_k^0 + \frac{E A_k}{L_k^0} \Delta_k^1 \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte , S_k^0 varsa elemanın öngerilme kuvveti, A_k elemanın kesit alanıdır. Bu durumda yeni iç kuvvetler , j düğümünde ; S_j^1 ,

$$S_j^1 = [S_i^1 \ S_j^1 \ S_k^1 \ S_l^1]^T \quad (3.7)$$

olacaktır Bundan sonra başka bir düğüme geçilerek, örneğin m nolu düğüme, bütün diğer düğümlerin deplasmanları tutulur ve m düğümünde çözüm yapılır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. m noktasına ait alt sistem.

m düğümünün dengesi kurulurken yeni geometri ve iç kuvvet durumu nazara alınır. Denge denklemleri,

$$k_m^1 U_m^1 = P_m^0 - S_m \quad (3.8)$$

kurulurken, diğer noktalarda hesaplanmış yeni koordinatlar ve eleman kuvvetleri, k_m^1 ve S_m matrislerinin hesabında kullanılırlar. m noktasının yeni koordinatları,

$$\Delta_m^1 = \Delta_m^0 + U_m^1 \quad (3.9)$$

ve bu yeni koordinatlar yardımıyla da, m düğümüne bağlı elemanlarda, örneğin k nolu elemanda, boyca değişim ;

$$\Delta_k^1 = L_k^0 - L_k^1 \quad (3.10)$$

hesaplanır. Burada, L_k^0 ve L_k^1 m düğümüne bağlı k nolu elemanın ilk ve (3.8) ile (3.9) çözümleri sonrası boylarıdır. Aynı elemanın yeni iç kuvveti de,

$$S_k^1 = S_k^0 + \frac{E A_k}{L_k^0} \Delta_k^1 \quad (3.11)$$

olacaktır. Burada bağıntılar aynı olmakla birlikte (3.6) ve (3.11) de hesaplanan kuvvetlerin farklı olduğu vurgulanmalıdır. Bunun sebebi, aynı elemanın (k nolu elemanın) iç kuvvetinin farklı geometri ve iç kuvvet konumunda ve farklı düğümlerin (j ve m nolu düğümlerin) dengesinden hesaplanmasıdır.

Yukarıda verilen hesap bütün düğümlerde tekrarlanır ve 1. iterasyon adımı tamamlanır. 2. iterasyon adımı aynı hesaplar bütün düğümler için tekrarlanır. Bütün elemanların i. iterasyon sonucu bulunan iç kuvvet vektörü ,

$$\underline{S}^i = [S_1^i \ S_2^i \ S_3^i \ \dots]^\top \quad (3.12)$$

ile gösterilirse ve,

$$|\underline{S}^i - \underline{S}^{i-1}| = \epsilon \underline{S}^i \quad (3.13)$$

ise iterasyon işlemine son verilir. Burada, ϵ bütün terimleri, örneğin 0.001 olan tolerans vektörüdür. i. iterasyon adımı bulunan iç kuvvetler ve geometri yani koordinatlar aranan denge konumudur.

Özü yukarıda anlatılan, asma kablo sistemlerin statik analizine ait PALKOWSKI - KOZLOWSKA Yöntemi esas alınarak hazırlanan, sonlu elemanlar notasyonunun kullanıldığı bilgisayar hesap programı Ek-1 de verilmiştir. Program, taşıyıcı sistemi oluşturan kablo elemanlarının kuvvetlerini düğüm noktalarının deplasmanlarına bağlı

olarak hesaplar. Program hazırlanırken, 1987 yılında A. TOPÇU tarafından yazılan "Mikro Mühendis" [10] adlı kaynaktan yararlanılmıştır.

3.3. Program Hakkında Genel Bilgiler

Ek-1 de verilen, asma kablolu sistemlerin hesabını yapan bilgisayar programının hesap algoritması kısaca aşağıda anlatılmıştır.

a- Çözülecek probleme ait veriler okunur ; Sistem tipi (düzlem veya uzay), hesap hassasiyeti, eleman ve nokta sayısı, kuvvet ve sınır şartı sayısı, elastisite modülü, elemanların tarifi, koordinatlar, dış kuvvetler, öngerilme kuvvetleri ve sınır şartları.

b- Sistemde öngerilme var ise başlangıçta, öngerilme kuvvetleri kablo kuvvetleri olarak alınırlar.

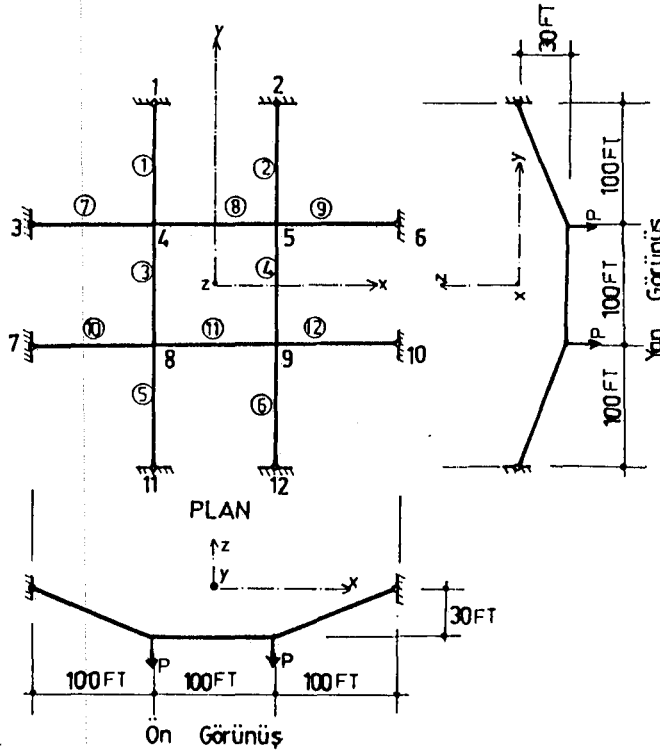
c- İterasyon işlemine başlanır. Her bir iterasyonda, tüm sabit olmayan düğüm noktalarında ayrı ayrı hesap yapılır. Bu hesapta, her bir düğüm için, o düğüme bağlı olan elemanların rijitlik matrisleri kurulur ve eleman rijitlik matrisleri toplanarak düğüm noktasının sistem rijitlik matrisi elde edilir. Hesap yapılan noktadaki dış yükler bilindiğinden, sonlu elemanlar notasyonundan yararlanılarak deplasmanlar bulunur. Bulunan deplasmanlara göre elemanların bir sonraki iterasyon adımında dikkate alınacak olan yeni koordinatları hesaplanır. Yine deplasmanlara bağlı olarak, sonlu elemanlar deplasman metodu yardımıyla kablo kuvvetleri elde edilir. Burada dikkat edilecek bir husus, komşu düğüm noktasının hesabı yapılırken, ortak olan elemanlara ait bulunan kablo kuvvetlerinin dikkate alındığıdır. Tüm düğüm noktalarında hesap tamamlanınca diğer iterasyon adımına başlanır. Yeni iterasyon adımında bir önceki adımda bulunan büyüklükler kullanılacaktır.

d- Ardışık iki iterasyon işleminde elde edilen aynı kabloları ait kablo kuvvetlerinin farkı, başlangıçta verilen hesap hassasiyetinin altına düşünce iterasyon işlemi bitirilir.

e- Son iterasyon adımında elde edilen deplasman ve kablo kuvvetleri, sonuç değerleri olarak elde edilirler.

Program hakkında bazı genel bilgiler Şekil 3.4. de verilen örnek esas alınarak açıklanacaktır [6,8,9].

Düğüm Noktaları : Kabloların birbirleri ile ve mesnetlere bağlandığı noktalardır. Örnekte 12 düğüm noktası vardır.



$$A=0.227 \text{ in}^2, \quad E=12000 \text{ kips/in}^2, \quad P=80 \text{ KİP}$$

ÖNGERİLME KUVVETLERİ:

③,④,⑧,⑪ nolu elemanlarda: 5,459 kips

①,②,⑤,⑥,⑦,⑨,⑩,⑫ nolu elemanlarda: 5,325 kips

Şekil 3.4. Örnek uzay kablo sistemi.

Elemanlar : İki düğüm arasını birleştiren kablo elemanıdır. Örnekte 12 adet kablo elemanı vardır ve şekilde, elemanların numaraları daire içine alınmıştır.

Sistem Eksen Takımı : Düğüm noktalarının koordinatlarını belirlemek için seçilen eksen takımındır. Şekil 3.4. deki örnek, bir uzay sistemdir ve eksen takımı x, y, z , olarak seçilmiştir. Yönler sırasıyla 1, 2, 3,

rakamları ile temsil edilmiştir. Düzlem bir sistem için eksen takımı x, y, z yönler sırasıyla 1, 2 olacaktır. Koordinat sistemi sağ el kuralına göre dir.

Mesnet Şartları : Sistemin mesnet noktalarına ait deplasman şartlarıdır. Şekil 3.4. de 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12 nolu noktalar mesnet noktalarıdır. Bu noktalar sabit olacağından mesnet şartı olarak x, y, z yönlerinde (1, 2, 3 yönleri) deplasmanlar sıfırdır.

Dış Yükler : Düğüm noktalarında x, y, z yönlerinde verilmiş kuvvetlerdir. Kuvvetlerin pozitif yönleri eksenlerin pozitif yönleri ile aynıdır.

Koordinatlar : Düğüm noktalarının seçilen eksen takımına göre x, y ve z koordinatlarıdır.

Deplasmanlar : Düğüm noktalarındaki yükler nedeniyle oluşacak hareket miktarlarıdır. Sabit olmayan her noktada uzay sistem için x, y ve z yönünde olmak üzere üç deplasman vardır.

Eleman Kuvvetleri : Elemanlarda yüklerden oluşan iç kuvvetlerdir. Sistemin özelliği nedeniyle, elemanlarda sadece çekme kuvvetlerinin oluşmasına müsaade edilir.

3.4. Verilerin Hazırlanması

Programın kullanılışı Şekil 3.4. de verilen sistem üzerinde açıklanacaktır. Sistem hakkındaki bilgiler, programın sonuna DATA satırları ile aşağıdaki sıra ile verilir.

Ana Veriler : Çözümü yapılacak olan problemin adı. Örnekte, "12 eleman ve 12 noktalı kablo asma sistem" olarak verilebilir.

Sistem Tipi : Çözülecek olan sistemin düzlem veya uzay olduğunu belirtir. Burada sistem uzaydır.

Hasap Hassasiyeti : Ardışık iki iterasyon işleminde bulunacak kuvvet değerleri arasındaki farkın mutlak değerinin alabileceği maksimum büyüklüğü gösterir. Genellikle 0.1 ile 0.00001 arasında değişen hesap hassasiyeti (tolerans sınırı) her bir örnek için başlangıçta sabit olarak verilir. Örnekte hesap hassasiyeti 0.001 seçilebilir.

Eleman Sayısı : Sistemi oluşturan kablo elemanlarının sayısıdır. Bu sistemde eleman sayısı : 12

Nokta Sayısı : Sistemdeki toplam düğüm noktası sayısıdır, burada : 12

Kuvvet Sayısı : Sistemin noktalarına etkiyen eksen yönlerindeki kuvvetlerin toplam sayısıdır, burada : 4

Sınır Şartı Sayısı : Mesnet noktalarında sıfır olan deplasmanların sayısıdır. Bu örnekte 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, mesnet noktaları x, y, z yönlerinde tutulmuştur. Bu nedenle sınır şartı sayısı $3 \times 8 = 24$ dür.

Elemanların Elastisite Modülü : Bütün elemanlar için geçerli olacak olan elastisite modülünün değeridir. Burada 12000 kip/in^2 dir.

Elemanların Tarifi : Kablo sistemini oluşturan elemanlar, elemanın numarası, elemanın bağlı olduğu noktalardan birinin numarası, diğer ucunun numarası, elemanın kesit alanının verilmesi ile tanımlanırlar. Örnek olarak 1 ve 8 nolu elemanların tarifi ; 1, 1, 4, 0.227 ve 8, 4, 5, 0.227 şeklinde yapılabilir. Bu tanımlama tüm elemanlar için yapılır.

Koordinatlar : Sisteme ait düğüm noktaları, seçilen eksen takımına göre, nokta no'su , x koordinatı , y koordinatı, sistem eğer uzay ise z koordinatı verilerek tarif edilir. Şekil 3.4. deki örnekte 1 ve 5 düğüm noktalarının tarifi için 1, -600, 1800, 0, ve 5, 600, 600, -360 vermek gerekir (in biriminde). Tanımlama her düğüm noktası için yapılır.

Kuvvetler : Her kuvvet için, kuvvetin bulunduğu nokta, kuvvetin yönü, kuvvetin büyüklüğü verilir. Kuvvet x yönünde ise yön 1, y yönünde ise yön 2, z yönünde ise kuvvetin yönü 3 rakamı ile temsil edilir. Örnekte kuvvetler 4, 5, 8 ve 9 noktalarında z yönünde 10 ar kip olarak verildiğinden tanımlama 4, 3, -10, 5, 3, -10, 8, 3, -10, 9, 3, -10 ile yapılır.

Öngerilme Kuvvetleri : Sistemde öngerilme var ise önce öngerilmeli eleman sayısı verilir ve ardından öngerilme kuvvetine sahip olan her eleman için eleman nosu, o elemana ait öngerilme kuvveti verilir. Öngerilme kuvveti yoksa sıfır verilir. Şekil 3.4. deki örnekte öngerilme kuvvetine sahip eleman sayısı 12 dir. 1, 2, 3,, 12 nolu elemanlara ait öngerilme tarifi için 12, 1, 5.325, 2, 5.325, 3, 5.459,, 12, 5.325 verilmesi gerekir

Sınır Şartları : Mesnetlerde değeri sıfır olan her deplasman için nokta

no, deplasman yönü, deplasman değeri (=0) verilir. Örneğin 1 mesnet noktasında x, y, ve z yönlerinde deplasman sıfırdır. Bu nokta için sınır şartı 1, 1, 0, 1, 2, 0, 1, 3, 0 olarak verilmelidir. Aynı tanımlama sınır şartına sahip her nokta için yapılmalıdır.

Yukarıda anlatılan esaslara göre Şekil 3.4. de gösterilen örneğe ait bilgisayar programı dataları aşağıda verilmiştir.

```

5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 12 eleman ve 12 noktali uzay kablo sistem
5020 DATA UZAY
5030 DATA .001
5040 DATA 12,12
5050 DATA 4,24
5060 DATA 12000
5070 DATA ELEMANLARIN TARIFI
5080 DATA 1,1,4,.227,2,2,5,.227
5090 DATA 3,4,8,.227,4,5,9,.227
5100 DATA 5,8,11,0.227,6,9,12,0.227
5110 DATA 7,3,4,0.227,8,4,5,0.227
5120 DATA 9,5,6,.227,10,7,8,.227
5130 DATA 11,8,9,.227,12,9,10,.227
5140 DATA KOORDINATLAR
5150 DATA 1,-600,1800,0,2,600,1800,0
5160 DATA 3,-1800,600,0,4,-600,600,-360
5170 DATA 5,600,600,-360,6,1800,600,0
5180 DATA 7,-1800,-600,0,8,-600,-600,-360
5190 DATA 9,600,-600,-360,10,1800,-600,0
5200 DATA 11,-600,-1800,0,12,600,-1800,0
5210 DATA KUVVETLER
5220 DATA 4,3,-8,5,3,-8,8,3,-8,9,3,-8
5230 DATA ONGERILME KUVVETLERI
5240 DATA 12,1,5.325,2,5.325,3,5.459
5250 DATA 4,5.459,5,5.325,6,5.325,7,5.325
5260 DATA 8,5.459,9,5.325,10,5.325
5270 DATA SINIR SARTLARI
5280 DATA 1,1,0,1,2,0,1,3,0,2,1,0,2,2,0,2,3,0
5290 DATA 3,1,0,3,2,0,3,3,0,6,1,0,6,2,0,6,3,0
5300 DATA 7,1,0,7,2,0,7,3,0,10,1,0,10,2,0,10,3,0
5310 DATA 11,1,0,11,2,0,11,3,0
5320 DATA 12,1,0,12,2,0,12,3,0
5330 DATA SON

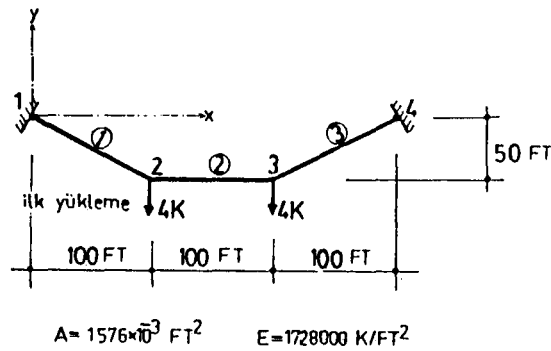
```

4. ÖRNEKLER

Bu bölümde, Literatürde çözülmüş olan bazı sayısal örnekler, Ek-1 de verilen bilgisayar programı yöntemi ile çözülmekte ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Örneklerdeki birimler kaynaklardan, karşılaştırmayı sağlamak amacıyla aynen alınmıştır.

Örnek : 1.

Şekil 4.1. de verilen 3 eleman ve 4 düğüm noktalı düzlemsel kablunun hesabı [7].



Şekil 4.1. Düzlem kablo sistemi.

Kablo sistemini oluşturan tüm elemanların kesit alanları $1.576 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$ (14.60 cm^2) dir ve malzeme elastisite modülü $1.728 \times 10^6 \text{ K/ft}^2$ ($8.43 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$) olarak verilmiştir. Sistem, Şekil 4.1. deki konumunu, 2 ve 3 noktalarına uygulanmış olan 4.0 Kip (1.814 ton) lik yükleme sonucunda almaktadır. Örnek 1. de, 2 ve 3 düğüm noktalarına sırasıyla önce her iki noktaya 7.0 Kip (3.175 ton) lik, daha sonra 2 noktasına 4.0 Kip (1.814 ton) , 3 noktasına 13.0 Kip (5.897 ton) lik yükleme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tablo 4.1. de verilmiştir. F. BARON ve M. S. VEKATESAN tarafından yapılan çalışmadaki [5] aynı örnek için bulunan sonuçlar da tabloda mevcuttur.

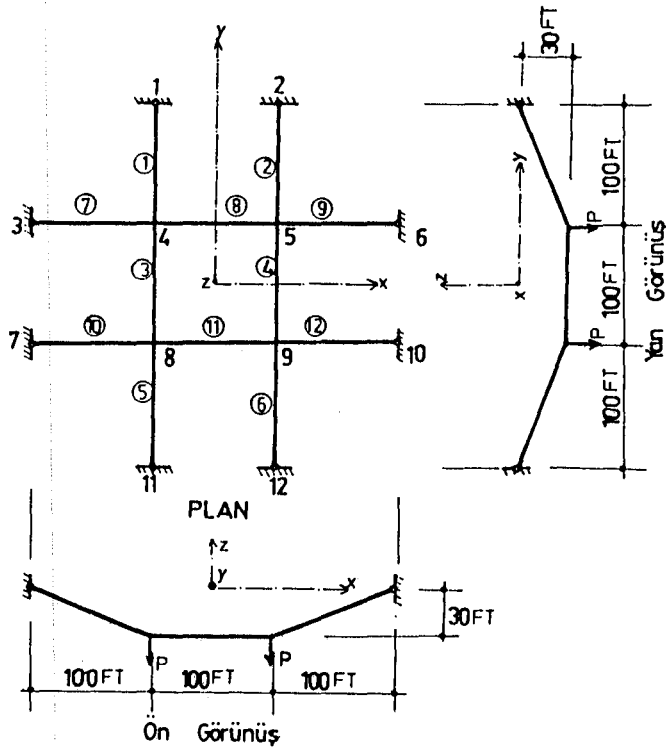
Nokta No	Yön	Yükleme Durumu			
		Toplam Yükleme, (Kip)			
2	x	0.00		0.00	
2	y	-7.00		-4.00	
3	x	0.00		0.00	
3	y	-7.00		-13.00	
		Deplasmanlar, (Feet)			
		Bu Çalışma	F. BARON	Bu Çalışma	F. BARON
2	x	-0.112	-0.106	4.37	4.38
2	y	-0.828	-0.800	8.82	8.84
3	x	-0.107	-0.106	3.43	3.42
3	y	-0.818	-0.800	-7.25	-7.22
Eleman No	Eleman Kuvvetleri, (Kip)				
1	15.43	15.40	18.50	18.50	
2	13.76	13.80	17.44	17.50	
3	15.44	15.40	20.02	20.00	

Tablo 4.1. Örnek 1. e ait sonuçlar.

Örnek 1. de hesap hassasiyeti 0.0001 alınmıştır. Buna göre iterasyon işlemi sayısı her iki yükleme durumu için 31 olarak elde edilmiştir. Örnek 1. e ait bilgisayar programı verileri ve çıktıları Ek 2. de verilmiştir.

Örnek 2.

Şekil 4.2. de görülen 12 eleman ve 12 noktalı, öngerilmeye sahip uzay kablo sisteminin verilen yükleme durumuna göre statik hesabı [6,8,9].



$$A=0.227 \text{ in}^2, \quad E=12000 \text{ kips/in}^2, \quad P=80 \text{ KIP}$$

ÖNGERİLME KUVVETLERİ:

$$\text{③, ④, ⑧, ⑪} \text{ nolu elemanlarda: } 5,459 \text{ kips}$$

$$\text{①, ②, ⑤, ⑥, ⑦, ⑨, ⑩, ⑫} \text{ nolu elemanlarda: } 5,325 \text{ kips}$$

Şekil 4.2. Örnek 2 için uzay kablo sistemi.

Şekil 4.2. deki uzay kablo sistemini oluşturan kablo elemanlarında kesitler 0.227 in^2 (1.46 cm^2), elastisite modülü

12x106 libre/in² (8.4x105 kg/cm²) dir. Öngerilme kuvvetleri, 3, 4, 8, 11, nolu elemanlarda 5.459 Kip (2.476 ton), diğer elemanlarda 5.325 Kip (2.415 ton) olarak verilmiştir. Kablo sistemine 4, 5, 8, 9, noktalarında 8.0 Kip (3.629 ton) lik düşey yüklerin etkimesi halinde kablo elemanlarında oluşacak kablo kuvvetleri ve düğüm noktalarındaki deplasmanlar hesaplanmıştır.

Çözüm Yöntemi	Nokta No	Deplasmanlar,(in.)		
		x Yönü	y Yönü	z Yönü
Bu Çalışma	4	-1.578	1.578	-17.63
	5	1.579	1.601	-17.68
	7	-1.601	-1.599	-17.68
	8	1.580	-1.580	-17.63
SAAFAN	4	-1.670	1.670	-18.90
	5	1.590	1.590	-17.65
	7	-1.590	-1.590	-17.64
	8	1.590	-1.590	-17.64
DESAİ	4	-1.580	1.580	-17.56
	5	1.580	1.580	-17.56
	7	-1.580	-1.580	-17.56
	8	1.580	-1.580	-17.56
JAYARAMAN-KNUDSON	4	-1.560	1.580	-17.57
	5	1.560	1.580	-17.57
	7	-1.560	-1.580	-17.57
	8	1.560	-1.580	-17.57

Eleman No.	Kablo Kuvveti, (Kip)
3,4,8,11	12.68
1,2,5,6,7,9,10,12	13.31

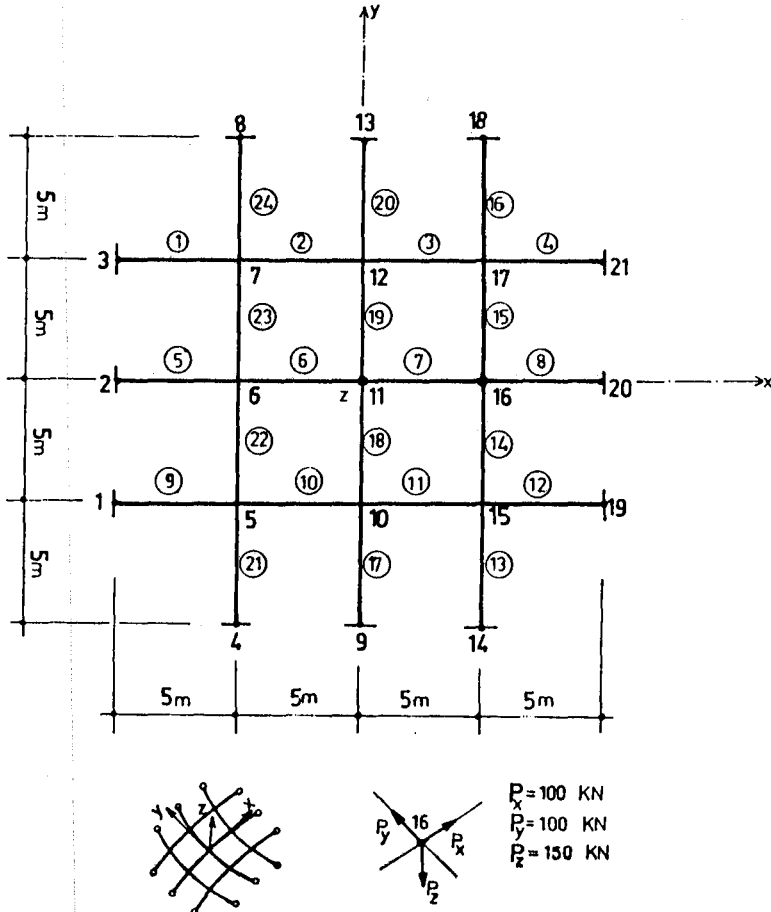
Elde edilen sonuçlar tablo 4.2. de verilmiştir.Çözümde hesap hassasiyeti 0.001 alınmış ve sonuca 11. iterasyon adımı ile varılmıştır. Aynı sayısal örnek JAYARAMAN ve KNUDSON [6], DESAI [8] ve SAAFAN [9] tarafından çözülmüş olup elde ettikleri sonuçlar yine tablo 4.2 de verilmiştir.

Örnek 2 ye ait bilgisayar programı verileri ve sonuç çıktıları Ek.3 de verilmektedir.

Örnek 3.

Şekil 4.3 de verilmiş olan öngerilmemiş uzay kablo sisteminin verilen yükleme durumuna göre statik hesabı istenmektedir. Örnek, bu çalışmada esas alınan PALKOWSKI - KOZLOWSKA metodunun test örneğidir [8].

Sistem geometrisi x ve y eksenlerine göre simetriktir ve kablo elemanlarına öngerilme verilmemiştir. Düğüm noktalarına ait z koordinatları Tablo 4.3. te verilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek. 3 için verilen uzay kablo sistem.

Nokta No	z Koordinatı, (m)	Nokta No	z koordinatı, (m)
11	0.000	17	0.000
12	0.375	18	1.125
13	1.500	20	-1.500
14	-0.375	21	-1.125

Tablo 4.3. Örnek 3 e ait düğüm noktası z koordinatları.

Kablo elemanlarında elastisite modülü ile kesit alanı çarpımı değerleri taşıyıcı kablo elemanlarında (y doğrultusundaki kablolarda) 150000 KN (15290.52 ton), stabilite kablo elemanlarında (x doğrultusundaki kablolarda) 120000 KN (12232.420 ton) olarak verilmiştir. Dış yükler yalnızca 16 no'lu düğüm noktasında mevcuttur ve bu noktada x,y,z yönlerinde sırasıyla 100 KN (10.190ton), 100 KN (10.190 ton) ve -150 KN (-15.290 ton) luk yük sisteme etki etmektedir.

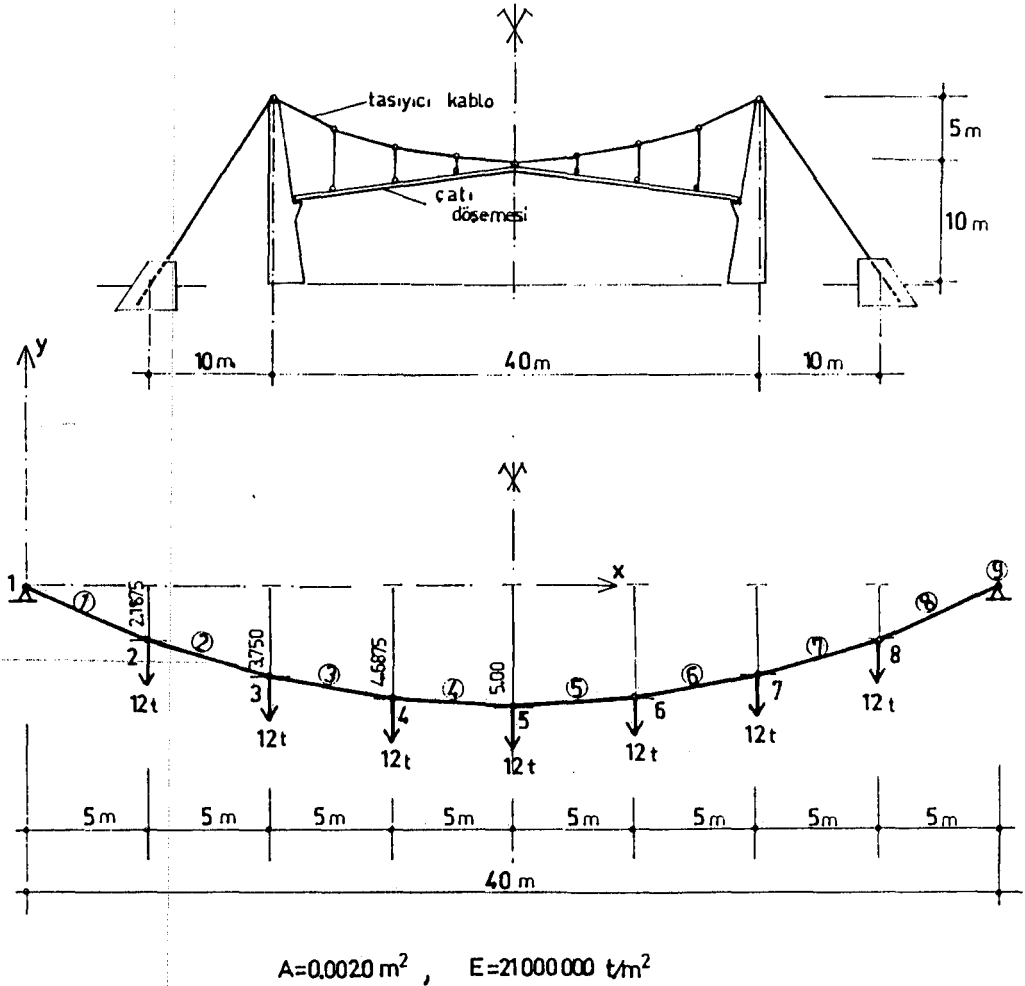
Çözümde hesap hassasiyeti 0.01 alınmış ve sonuca 148 iterasyon adımı ile ulaşılmıştır. Örnek 3 e ait olan bu verilere göre ek 1. de verilen bilgisayar programı ile çözüm yapıldığında elde edilen sonuçlar ve PALKOWSKI ve KOZLOWSKA tarafından yapılan çalışmadaki [8] aynı örneğe ait sonuçlar tablo 4.4. de ve bilgisayar çıktıları Ek 4. de verilmiştir.

Nokta No	Deplasmanlar, (m)					
	x yönünde		y yönünde		z yönünde	
	Bu Çalışma	Palkowski-Kozłowska	Bu Çalışma	Palkowski-Kozłowska	Bu Çalışma	Palkowski-Kozłowska
5	0.0082	0.0082	-0.0008	-0.0008	-0.0179	-0.0179
6	0.0163	0.0163	-0.0006	-0.0006	-0.0535	-0.0536
7	0.0061	0.0061	-0.0011	-0.0011	-0.0093	-0.0092
10	0.0101	0.0101	0.0053	0.0054	0.0079	0.0080
11	0.0236	0.0237	-0.0003	-0.0003	-0.0973	0.0973
12	0.0081	0.0081	-0.0065	-0.0066	0.0133	0.0134
15	0.0202	0.0202	0.0390	0.0390	0.1036	0.1035
16	0.0051	0.0051	0.0038	0.0038	-0.3297	-0.3301
17	0.0169	0.0169	-0.0326	-0.0326	0.0894	0.0893

Eleman No.	Kablo Kuvveti,(KN)		Eleman No.	Kablo Kuvveti,(KN)	
	Bu Çalışma	Palkowski-Kozłowska		Bu Çalışma	Palkowski-Kozłowska
10	93.94	93.97	21	92.29	92.27
12	99.83	99.74	19	99.62	99.65
5	103.54	103.59	13	483.82	483.65
7	103.03	103.10	14	481.83	481.66
8	0.00	0.00	15	380.43	380.26
4	94.26	94.17	16	382.43	382.74

Tablo 4.4. Örnek 3 e ait sonuçlar .

Şekil 4.4 de verilen asma çatıya ait taşıyıcı düzlem kablonun statik hesabı.



Şekil 4.4. Örnek 4 e ait asma çatı ve taşıyıcı kablo sistemi.

Taşıyıcı kablo sistemindeki kablo elemanlarında, şekildeki yükleme sonucunda oluşacak deplasman ve kuvvetler tablo 4.5 de verilmiştir. Ayrıca bu örnek için hazırlanan bilgisayar program verileri ve sonuç çıktıları Ek.5 de mevcuttur.

Eleman No.	Kablo Kuvveti, (ton)
1	101.73
2	97.47
3	94.60
4	93.24
5	93.41
6	95.06
7	98.09
8	102.41

Nokta No.	Deplasman, (m)	
	x yönü	y yönü
1	0.0000	0.0000
2	-0.0148	-0.0658
3	-0.0177	-0.1152
4	-0.0117	-0.1450
5	-0.0011	-0.1534
6	0.0092	-0.1407
7	0.0149	-0.1089
8	0.0125	-0.0609
9	0.0000	0.0000

Tablo 4.5. Örnek 4. için elde edilen sonuçlar.

5. SONUÇ

Kablolu asma sistemlerin statik analizi, bu sistemlerin lineer olmayan bir davranış göstermelerinden dolayı oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır. Bunun yanında ekonomiklik, estetik üstünlük ve montajının hızlı olması tercih edilmelerinde önemli etkenlerdir. Büyük açıklıkların ve geniş hacimlerin mümkün olduğu kadar az mesnetle veya ara mesnetsiz geçilmesi amacına uygun çözümlerden biride kablolu asma sistemlerdir.

Bu çalışmada, literatürdeki kablolu sistemlerin statik analizi ile ilgili bazı kaynaklar araştırılmış ve bu sistemlerin çözümü için basit bir yöntem sunulmuştur. S.PALKOWSKI ve M.KOZLOWSKA [8] tarafından geliştirilen bu yöntemin esaslarını içeren bir bilgisayar programı, sonlu elemanlar deplasman metoduna göre hazırlanmıştır. Ayrıca kablolu asma sistemlerin hesabını içeren kaynaklardan alınan bazı sayısal örnekler bu bilgisayar programı ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar mukayeseli olarak verilmiştir. Örneklerin sonuçları incelendiğinde, bu tez çalışmasındaki metod ile elde edilen sonuçlar ve literatürdeki çeşitli metodlarla elde edilmiş sonuçlar arasında büyük bir uyum görülmüştür. Bununla beraber, özellikle kablo elemanları yataya çok yakın olan sistemler buradaki bilgisayar programı ile çözüldüğünde çözümün iraksadığı gözlenmiştir. Ayrıca hesap sırasında, malzemenin akması halinde de iraksama olmaktadır.

Metodunu esas aldığımız kaynaktaki [8] birinci sayısal örnek Ek.1 deki bilgisayar programı ile çözüldüğünde elde edilen sonuçların kaynakta verilen sonuçlarla uyuşmadığı gözlenmiştir. Bunun nedeni bulunamamıştır.

Yükler altındaki deplasmanları diğer sistemlere nazaran daha büyük değerlere ulaşan kablolu sistemlerin çözümleri bir iterasyon işlemi dahilinde yapılmaktadır. İterasyon adedi, başlangıçta seçilen hesap hassasiyetinin (tolerans sınırı) büyüklüğüne göre değişmektedir. Hassasiyet küçüldükçe iterasyon sayısı artmakta dolayısıyla daha hassas bir çözüm elde edilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

1. BARON F./ VENKATESAN M.S.: "Nonlinear Analysis Of Cable and Truss Structures", Journal Of The Structural Division, ASCE, Vol. 97, ST2, pp.7937, 1971
2. COOK R.D.: "Concepts And Applications Of Finite Element Analysis", New York, 1974
3. DESAI Y.M./POPPLEWELL N./ SHAH A.H./ BURAGOHAİN D.N.: "Geometrik Nonlinear Static Analysis Of Cable Supported Structures", Computers And Structures, Vol.29, pp.1001, 1988
4. HOCHTIEF NACHRICHTEN : "Istanbul Boğaziçi Köprüsü Hakkında Bilgiler" Essen-1974
5. JAYARAMAN H.B. / KNUDSON W.C : "A Curved Element For The Analysis Of Cable Structures", Computer And Structures, Vol. 14, pp. 325-533, 1981
6. KARATAŞ H. "Asma Sistemler", İ.T.Ü. Mim. Fak. Yayını , İstanbul 1979
7. O'BRIEN W.T. : "General Solution Of Suspended Cable Problems." Journal Of The Structural Division, ASCE, Vol. 93, No.ST1, pp 5085, 1967
8. PALKOWSKI S./ KOZLOWSKA M. : "Ein einfaches Verfahren zur statischen Analyse von Seilnetzen", Bautechnik, 65, H.10, p.332, 1988

9. SAAFAN A.S.: "Theoretical Analysis Of Suspension Roofs", Journal Of The Structural Division, ASCE, VOL.96, PP.7107, 1970
10. TOPÇU A.: "Mikro Mühendis", Anadolu Üniv.Müh.Mim.Fak.Yayı, Eskişehir, 1987
11. TOPÇU A.: "Sonlu Elemanlar Metodu", Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Ders Notları, Eskişehir, 1989
12. YORULMAZ M. : "Kablolarla Asılı Çatı Yapımının Bugünkü Durumu" (Çeviri), İ.T.Ü. Mim. Fak. Yayını, İstanbul, 1972

EKLER

Ek -1. Bilgisayar Hesap Programı

```
10 REM ANADOLU UNIVERSITESI - Haziran 1990 - ESKISEHIR
20 REM test icin kullanılan bilgisayar
30 REM AMSTRAD CPC6128 / 128 kb ana hafizali
40 INPUT " ekran için: 0 , yazıcı için: 8 ---->" ,ka%
50 IF ka%=8 THEN PRINT#ka%,CHR$(15)
60 PRINT #ka%
70 PRINT #ka%
80 PRINT #ka%,"KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI"
90 PRINT #ka%,"          'SONLU ELEMANLAR METODU'"
100 PRINT #ka%,"          (deplasman metodu)"
110 PRINT #ka%:PRINT #ka%
120 '
130 PRINT #ka%
140 REM hata listesi
150 Hata0$="----->verilerde hata var !"
160 Hata1$="----->eleman no hatalı   !"
170 Hata2$="----->nokta no hatalı   !"
180 Hata3$="----->kesit alanı hatalı  !"
190 Hata4$="----->hatalı yön tarifi  !"
200 Hata5$="----->daha önce de verildi!"
210 Hata6$="----->sistem labil     !"
220 Hata7$="----->verilerin sırası yanlış !"
230 '
240 D1$="ANA VERİLER"
250 D2$="ELEMANLARIN TARIFI"
260 D3$="KOORDİNATLAR"
270 D4$="KUVVETLER"
280 D6$="SİNİR SARTLARI"
290 D7$="SON"
300 REM önemli değişkenlerin tarifi
310 REM ES%=eleman sayısı
320 REM NS%=nokta sayısı
330 REM KS%=verilmiş kuvvet sayısı
340 REM SS%=verilmiş sınır şartı sayısı
350 REM E=elastisite modulu
360 REM ED matrisi=eleman dataları
370 REM gr matrisi=elemanın global rijitlik matrisi
380 REM XY matrisi=noktaların koordinatları
390 REM SD%=sistemin serbestlik derecesi
400 REM p matrisi=kuvvet vektörü
410 REM K:düğüm global rijitlik matrisi
420 REM eps:hesap hassasiyeti
430 '
440 REM ana veriler
450 hata$=""
```

```

460 READ DO$
470 IF DO$<>D1$ THEN PRINT #1 hata7$:GOTO 2110
480 READ problemadi$
490 PRINT #ka%,"PROBLEM:" : PRINT #ka%,problemadi$
500 PRINT #ka%
510 READ sistem$:
520 IF sistem$="DUZLEM" THEN sistem=1:GOTO 550
530 IF sistem$="UZAY" THEN sistem=2:GOTO 550
540 PRINT #ka% "Sistem Tipi Hatali !":END
550 PRINT #ka%, "(";sistem$;" sistem)"
560 READ eps
570 READ Es%,Ns%
580 READ Ks%,Ss%
590 READ E
600 Sd%=3*Ns%
610 PRINT #ka%
620 PRINT #ka%,"eleman sayisi.....=";Es%
630 PRINT #ka%,"nokta sayisi.....=";Ns%
640 PRINT #ka%,"kuvvet sayisi.....=";Ks%
650 PRINT #ka%,"sinir sarti sayisi.....=";Ss%
660 PRINT #ka%,"elastisite modulu.....=";E
670 PRINT #ka%,"sistemin serbestlik derecesi.....=";Sd%
680 PRINT #ka%,"hesap hassasiyeti.....=";eps
690 PRINT #ka% :PRINT #ka%
700 IF Es%<3 OR Ns%<3 THEN Hata$="VAR"
710 IF Ks%<0 OR Ks%>Sd%-Ss% THEN Hata$="VAR"
720 IF Ss%<3 OR Ss%>Sd%-Ks% THEN Hata$="VAR"
730 IF E<=0 THEN Hata$="VAR"
740 IF hata$="VAR" THEN PRINT #ka%,hata0$ : GOTO 2110
750 DIM Ed(es%,3),Gr(3,3),Xy(Ns%,3),Xy1(Ns%,3)
760 DIM p(sd%,1),ss(sd%,3),nokel%(100),K(3,3),L(ES%)
770 DIM ONGER(es%),FBO(ES%),Fb(es%)
780 REM elemanlarin tarifi
790 READ DO$
800 IF DO$<>D2$ THEN PRINT #ka%, hata7$: GOTO 2110
810 band%=0
820 PRINT #ka%,"ELEMANLARIN TARIFI:"
830 PRINT #ka%,"=====":PRINT #ka%
840 PRINT #ka%,"ELEMAN","i-noktası","j-noktası","kesit alanı"
850 PRINT #ka%,"-----","-----","-----","-----"
860 FOR i%=1 TO Es%
870 READ E1%,In%,Jn%,alan
880 PRINT #ka%,E1%,In%,Jn%,alan
890 IF E1%<1 OR E1%>Es% THEN PRINT #ka%,hata1$:hata$="VAR"
900 IF In%<1 OR In%>Ns% THEN PRINT #ka%,hata2$:hata$="VAR"
910 IF Jn%<1 OR Jn%>Ns% THEN PRINT #ka%,hata2$:hata$="VAR"
920 IF In%=Jn% THEN PRINT #ka%,hata2$:hata$="VAR"
930 IF alan<=0 THEN PRINT #ka%,hata3$:hata$="VAR"
940 IF Ed(E1%,1)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$:hata$="VAR"
950 IF hata$="VAR" GOTO 2110
960 Ed(E1%,1)=In%

```

```

970 Ed(E1%,2)=Jn%
980 Ed(E1%,3)=alan
990 IF ABS(Jn%-In%)>band% THEN band%=ABS(Jn%-In%)
1000 NEXT i%
1010 band%=(Band%+1)*3-1
1020 PRINT #ka%
1030 PRINT #ka%,"DENKLEM SAYISI      ="Sd%-Ss%
1040 PRINT #ka%,"REAKSIYON SAYISI    ="Ss%
1050 PRINT #ka%,"YARI BAND GENISLIGI=";Band%+1
1060 PRINT #ka%
1070 REM noktalarin koordinatlari
1080 READ DO$
1090 IF DO$<>D3$ THEN PRINT #ka%,hata7$:GOTO 2110
1100 PRINT #ka%,"NOKTALARIN KOORDINATLARI:"
1110 PRINT #ka%,"====="
1120 PRINT #ka%,"nokta"," X"," Y",:IF sistem=2
      THEN PRINT#ka%,"Z" ELSE PRINT#ka%,
1130 PRINT #ka%,"-----","----","----",:IF sistem=2
      THEN PRINT#ka%,"----" ELSE PRINT#ka%,
1140 FOR I1%=1 TO Ns%
1150 READ K%,X,Y:IF sistem=2 THEN READ Z ELSE Z=0
1160 PRINT #ka%,K%,X,Y,: IF sistem=2
      THEN PRINT#ka%,Z ELSE PRINT#ka%
1170 IF K%<1 OR K%>Ns% THEN PRINT #ka%,hata2$ :hata$="VAR"
1180 IF Xy(K%,1)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$ :hata$="VAR"
1190 IF Xy(K%,2)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$ :hata$="VAR"
1200 IF Xy(K%,3)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$ :hata$="VAR"
1210 IF hata$="VAR" GOTO 2110
1220 Xy(k%,1)=X
1230 Xy1(k%,1)=X
1240 Xy(K%,2)=Y
1250 Xy1(k%,2)=Y
1260 Xy(K%,3)=z
1270 Xy1(K%,3)=z
1280 NEXT I1%
1290 REM kuvvetler
1300 READ DO$
1310 IF DO$<>D4$ THEN PRINT #ka%,hata7$:GOTO 2110
1320 PRINT #ka%
1330 PRINT #ka%,"VERILMIS KUVVETLER"
1340 PRINT #ka%,"====="
1350 PRINT #ka%,"nokta","yon","kuvvet"
1360 PRINT #ka%,"-----","----","-----"
1370 FOR i%=1 TO Ks%
1380 READ k%,yon%,kuv
1390 PRINT #ka%,k%,yon%,kuv
1400 IF k%<1 OR k%>Ns% THEN PRINT #ka%,hata2$:hata$="VAR"
1410 IF yon%<1 OR yon%>3 THEN PRINT #ka%,hata4$:hata$="VAR"
1420 IF yon%=3 AND sistem=1 THEN PRINT #ka%,hata4$:hata$="VAR"
1430 D2%=3*k%-3+yon%
1440 IF p(D2%,1)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$:hata$="VAR"

```

```

1450 IF hata$="VAR" GOTO 2110
1460 P(D2%,1)=kuv
1470 NEXT i%
1480 PRINT#ka%
1490 PRINT#ka%,"ONGERILME KUVVETLERI:"
1500 PRINT#ka%,"=====
1510 READ d0$:IF d0$<>"ONGERILME KUVVETLERI" THEN GOTO 2110
1520 READ ogks:IF ogks=0 THEN PRINT#ka%,
      "ongerilme yok":GOTO 1570
1530 GOSUB 3500
1540 PRINT#ka%,"eleman","ongerilme"
1550 PRINT#ka%,"-----","-----"
1560 FOR e1%=1 TO es%:PRINT#ka%,e1%;
      TAB(15);onger(e1%):NEXT e1%
1570 REM sinir sartlari
1580 READ DO$
1590 IF DO$<>D6$ THEN PRINT #ka%,hata7$:GOTO 2110
1600 PRINT #ka%
1610 PRINT #ka%,"VERILMIS SINIR SARTLARI:"
1620 PRINT #ka%,"=====
1630 PRINT #ka%,"nokta","yon","deplasman"
1640 PRINT #ka%,"-----","----","-----"
1650 FOR i%=1 TO Ss%
1660 READ k%,yon%,dep
1670 PRINT #ka%,k%,yon%,dep
1680 IF k%<1 OR k%>Ns% THEN PRINT #ka%,hata2$:hata$="VAR"
1690 IF yon%<1 OR yon%>3 THEN PRINT #ka%,hata4$:hata$="VAR"
1700 D2%=3*k%-3+yon%
1710 IF Ss(D2%,1)<>0 THEN PRINT #ka%,hata5$:hata$="VAR"
1720 IF hata$="VAR" GOTO 2110
1730 Ss(D2%,1)=yon%
1740 Ss(D2%,2)=dep
1750 NEXT i%
1760 IF sistem=2 GOTO 1790
1770 FOR d2%=3 TO sd% STEP 3:ss(d2%,1)=3:ss(d2%,2)=0:NEXT d2%
1780 ss%=ss%+ns%
1790 READ DO$
1800 IF DO$<>D7$ THEN PRINT #ka%,hata7$:GOTO 2110
1810 *
1820 *ELEMANLARIN ILK BOYLARI
1830 FOR EL%=1 TO ES%:GOSUB 2880:L(EL%)=L:NEXT EL%
1840 REM dugum noktalarinin ve komsu noktalarin bulunmasi
1850 adim%=0
1860 adim%=adim%+1:PRINT#KA%," iterasyon ----->";adim%
1870 FOR nok%=1 TO NS%
1880 d2%=(nok%-1)*3
1890 IF ss(d2%+1,1)<>0 AND ss(d2%+2,1)<>0
      AND ss(d2%+3,1)<>0 GOTO 2020
1900 nokelsay%=0
1910 FOR EL%=1 TO ES%

```

```

1920 IF Ed(EL%,1)=nok% THEN nokelsay%=nokelsay%+1:
nokel%(nokelsay%)=EL%:GOTO 1940
1930 IF Ed(EL%,2)=nok% THEN nokelsay%=nokelsay%+1:
nokel%(nokelsay%)=EL%
1940 NEXT EL%
1950 GOSUB 3000:'noktadaki yukleri hesapla
1960 IF ABS(f(1))<=0.01 AND ABS(f(2))<=0.01 AND
ABS(f(3))<=0.01 THEN GOTO 2020
1970 GOSUB 3150:'sub sistemin global rijitlik matrisi
1980 GOSUB 3390:'sinir sartlarini isle
1990 GOSUB 2140:'denklemleri coz-GAUSS/JORDAN
2000 GOSUB 2410:'YENI KOORDINATLAR
2010 GOSUB 2310:'eleman ic kuvvetleri
2020 NEXT nok%
2030 GOSUB 2470:'sistem deplasmanlari
2040 'sistem kuvvetleri
2050 FOR i%= 1 TO es%
2060 IF ABS(fb(i%)-fbo(i%))>eps THEN GOSUB 2720:GOTO 1860
2070 NEXT i%
2075 INPUT "printer icin :8 , ekran icin :0";ka%
2080 GOSUB 2470:'sistem deplasmanlari
2090 PRINT #ka%,"iterasyon sayisi=";adim%
2100 PRINT #ka%,"erisilen hassasiyet :eps=";eps
2110 PRINT #ka%,"-----program sonu-----"
2120 STOP
2130 '
2140 REM denklem sisteminin cozulmesi-GAUS/CORDAN
2150 FOR i1%=1 TO 3
2160 FOR j1%=1 TO 3
2170 IF i1%=j1% THEN 2230
2180 xx=-K(j1%,i1%)/K(i1%,i1%)
2190 FOR k1%=1 TO 3
2200 K(j1%,k1%)=K(j1%,k1%)+xx*K(i1%,k1%)
2210 NEXT k1%
2220 F(j1%)=F(j1%)+xx*F(i1%)
2230 NEXT j1%
2240 NEXT i1%
2250 REM subsistem deplasmanlari deplasmanlari
2260 FOR i1%=1 TO 3
2270 delta(i1%)=F(i1%)/K(i1%,i1%)
2280 NEXT i1%
2290 RETURN
2300 '
2310 REM dugume bagli elemanlarin ic kuvvetleri
2320 FOR i3%=1 TO nokelsay%
2330 EL%=nokel%(i3%)
2340 GOSUB 2880:'elemanın geometrik ozellikleri
2350 DELTA=L-L(EL%)
2360 FB(EL%)=onger(e1%)+E*alan/L(EL%)*delta
2370 IF fb(e1%)<0 THEN fb(e1%)=0:'basinc kuvvetini sifirla!
2380 NEXT i3%
2390 RETURN
2400 '
2410 REM Yeni koordinatlar

```

```

2420 FOR i9%=1 TO 3
2430 Xy(nok%,i9%)=Xy(nok%,i9%)+delta(i9%)
2440 NEXT i9%
2450 RETURN
2460 '
2470 REM sistem deplasmanlari
2480 PRINT #Ka%
2490 PRINT #Ka%,:PRINT #Ka%," DEPLASMANLAR"
2500 PRINT #Ka%,"====="
2510 PRINT #Ka%,"nokta no","delta(x)","delta(y)",
2520 IF sistem=2 THEN PRINT #Ka%,"delta(z)" ELSE PRINT #Ka%,
2530 PRINT #Ka%,"-----","-----","-----",
2540 IF sistem=2 THEN PRINT #Ka%,"-----" ELSE PRINT #Ka%,
2550 FOR i9%=1 TO ns%
2560 PRINT#ka%,i9%,
2570 PRINT #Ka%,USING"###.#####";(XY(i9%,1)-xy1(i9%,1)),
2580 PRINT #ka%,USING"###.#####";(XY(i9%,2)-xy1(i9%,2)),
2590 IF sistem=2 THEN PRINT#ka%,USING"###.#####";
      (XY(i9%,3)-xy1(i9%,3)),
2600 PRINT #ka%
2610 NEXT i9%
2620 '
2630 PRINT #Ka%:PRINT #Ka%
2640 PRINT #Ka%,"Cubuk kuvvetleri:"
2650 PRINT #Ka%,"====="
2660 FOR i9%=1 TO es%
2670 PRINT #Ka%,"F(";i9%;")=";:PRINT#ka%,
      USING"#####.##";Fb(i9%)
2680 NEXT i9%
2690 PRINT #Ka%:PRINT #Ka%
2700 RETURN
2710 '
2720 REM kuvvet aktarilmasi
2730 FOR i9%=1 TO es%
2740 fbo(i9%)=fb(i9%)
2750 NEXT i9%
2760 RETURN
2770 '
2780 k(1,1)=k(1,1)+EAL*A(1,1)*A(1,1)
2790 k(2,1)=k(2,1)+EAL*A(1,1)*A(1,2)
2800 k(2,2)=k(2,2)+EAL*A(1,2)*A(1,2)
2810 k(3,1)=k(3,1)+EAL*A(1,1)*A(1,3)
2820 k(3,2)=k(3,2)+EAL*A(1,2)*A(1,3)
2830 k(3,3)=k(3,3)+EAL*A(1,3)*A(1,3)
2840 k(1,2)=k(2,1):k(1,3)=k(3,1)
2850 k(2,3)=k(3,2)
2860 RETURN
2870 '
2880 REM elemanın geometrik özellikleri
2890 In%=Ed(EL%,1) : Jn%=Ed(EL%,2)
2900 X=Xy(jn%,1)-Xy(In%,1)
2910 Y=Xy(jn%,2)-Xy(In%,2)

```



```

2920 Z=Xy(Jn%,3)-Xy(In%,3)
2930 L=SQR(X*X+Y*Y+Z*Z)
2940 alan=Ed(EI%,3):EAL=E*alan/L
2950 A(1,1)=X/L
2960 A(1,2)=Y/L
2970 A(1,3)=Z/L
2980 RETURN
2990 *
3000 REM noktadaki yuklerinin bulunmasi
3010 yon%=(nok%-1)*3
3020 FOR i9%=1 TO 3
3030 f(i9%)=p(yon%+i9%,1)
3040 NEXT i9%
3050 FOR i9%=1 TO nokelsay%
3060 el%=nokel%(i9%)
3070 GOSUB 2880:'cosinus dogrultmanlari
3080 n=fb(el%):IF in%=nok% THEN n=-n
3090 FOR j9%=1 TO 3
3100 f(j9%)=f(j9%)-n*a(1,j9%)
3110 NEXT j9%
3120 NEXT i9%
3130 RETURN
3140 *
3150 'sub sistemin global rijitligi
3160 FOR k1%=1 TO 3
3170 FOR k2%=1 TO 3
3180 k(k1%,k2%)=0
3190 NEXT k2%
3200 NEXT k1%
3210 FOR i9%=1 TO nokelsay%
3220 EL%=nokel%(i9%):GOSUB 2880:'eleman ozellikleri
3230 REM:'elemanın global rijitligini ekle
3240 k(1,1)=k(1,1)+EAL*A(1,1)*A(1,1)
3250 k(2,1)=k(2,1)+EAL*A(1,1)*A(1,2)
3260 k(2,2)=k(2,2)+EAL*A(1,2)*A(1,2)
3270 k(3,1)=k(3,1)+EAL*A(1,1)*A(1,3)
3280 k(3,2)=k(3,2)+EAL*A(1,2)*A(1,3)
3290 k(3,3)=k(3,3)+EAL*A(1,3)*A(1,3)
3300 NEXT i9%
3310 k(1,2)=k(2,1):k(1,3)=k(3,1)
3320 k(2,3)=k(3,2)
3330 RETURN
3340 *
3350 PRINT#ka%,"RIJITLIK MATRISI:"
3360 FOR k1%=1 TO 3:FOR k2%=1 TO 3:PRINT #ka%, K(k1%,k2%);
3370 NEXT k2%:PRINT #ka%,:NEXT k1%
3380 RETURN
3390 *
3400 REM sinir sartlariniN islenmesi
3410 yon%=(nok%-1)*3

```

```
3420 FOR i9%=1 TO 3
3430 IF ss(yon%+i9%,1)=0 GOTO 3480
3440 FOR j9%=1 TO 3
3450 k(i9%,j9%)=0:k(j9%,i9%)=0
3460 NEXT j9%
3470 k(i9%,i9%)=1:f(i9%)=0
3480 NEXT i9%
3490 RETURN
3500 '
3510 REM ongerilme kuvvetleri
3520 FOR i9%=1 TO es%
3530 READ el%,onger
3540 GOSUB 2880
3550 onger(el%)=onger
3560 fb(el%)=onger(el%)
3570 NEXT i9%
3580 RETURN
3590 '
3600 DATA ANA VERILER
3610 DATA 3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO
3620 DATA DUZLEM
3630 DATA .1
3640 DATA 3,4
3650 DATA 2,4
3660 DATA 1728000
3670 DATA ELEMANLARIN TARIFI
3680 DATA 1,1,2,.001576,2,2,3,.001576,3,3,4,.001576
3690 DATA KOORDINATLAR
3700 DATA 1,0,0,2,100,-50,3,200,-50,4,300,0
3710 DATA KUVVETLER
3720 DATA 2,2,-4,3,2,-4
3730 DATA ONGERILME KUVVETLERI
3740 DATA 0
3750 DATA SINIR SARTLARI
3760 DATA 1,1,0,1,2,0,4,1,0,4,2,0
3770 DATA SON
```

Ek -2. Örnek 1. İçin Bilgisayar Program Verileri Ve Çıktıları

— Öngerilme olmaması hali.

```
5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO
5020 DATA DUZLEM
5030 DATA .001
5040 DATA 3,4
5050 DATA 2,4
5060 DATA 1728000
5070 DATA ELEMANLARIN TARIFI
5080 DATA 1,1,2,.001576,2,2,3,.001576,3,3,4,.001576
5090 DATA KOORDINATLAR
5100 DATA 1,0,0,2,100,-50,3,200,-50,4,300,0
5110 DATA KUVVETLER
5120 DATA 2,2,-4,3,2,-4
5130 DATA ONGERILME KUVVETLERI
5140 DATA 0
5150 DATA SINIR SARTLARI
5160 DATA 1,1,0,1,2,0,4,1,0,4,2,0
5170 DATA SON
```

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:
3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO

(DÜZLEM sistem)

eleman sayısı.....= 3
nokta sayısı.....= 4
kuvvet sayısı.....= 2
sinir şartı sayısı.....= 4
elastisite modülü.....= 1728000
sistemin serbestlik derecesi.....= 12
hesap hassasiyeti.....= 0.001

ELEMANLARIN TARIFI:

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alanı
1	1	2	0.001576
2	2	3	0.001576
3	3	4	0.001576

DENKLEM SAYISI = 8
REAKSIYON SAYISI = 4
YARI BAND GENİSLİĞİ= 6

NOKTALARIN KOORDİNATLARI:

nokta	X	Y
1	0	0
2	100	-50
3	200	-50
4	300	0

VERİLMİŞ KUVVETLER

nokta	yon	kuvvet
-------	-----	--------

2	2	-4
3	2	-4

ONGERILME KUVVETLERI:

=====

ongerilme yok

VERILMIS SINIR SARTLARI:

=====

nokta	yon	deplasman
1	1	0
1	2	0
4	1	0
4	2	0

DEPLASMANLAR

=====

nokta no	delta(x)	delta(y)
1	0.000000	0.000000
2	-0.156350	-1.106578
3	0.131210	-1.059747
4	0.000000	0.000000

Çubuk kuvvetleri:

=====

F(1)= 8.77
F(2)= 7.83
F(3)= 8.80

iterasyon sayisi= 34

erisilen hassasiyet :eps= 0.001

-----program sonu-----

— Öngerilmeli I.yükleme durumu.

5000 DATA ANA VERILER -
5010 DATA 3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO
5020 DATA DÜZLEM
5030 DATA .0001
5040 DATA 3, 4
5050 DATA 2, 4
5060 DATA 1728000
5070 DATA ELEMANLARIN TARIFI
5080 DATA 1, 1, 2, .001576, 2, 2, 3, .001576, 3, 3, 4, .001576
5090 DATA KOORDINATLAR
5100 DATA 1, 0, 0, 2, 100, -50, 3, 200, -50, 4, 300, 0
5110 DATA KUVVETLER
5120 DATA 2, 2, -7, 3, 2, -7
5130 DATA ÖNGERİLME KUVVETLERİ
5140 DATA 3, 1, 8.78, 2, 7.82, 3, 8.79
5150 DATA SINIR ŞARTLARI
5160 DATA 1, 1, 0, 1, 2, 0, 4, 1, 0, 4, 2, 0
5170 DATA SON

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:

3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO

(DÜZLEM sistem)

eleman sayısı.....= 3
nokta sayısı.....= 4
kuvvet sayısı.....= 2
sınır şartı sayısı.....= 4
elastisite modulu.....= 1728000
sistemin serbestlik derecesi.....= 12
hesap hassasiyeti.....= 0.0001

ELEMANLARIN TARIFI:

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alanı
1	1	2	0.001576
2	2	3	0.001576
3	3	4	0.001576

DENKLEM SAYISI = 8

REAKSIYON SAYISI = 4

YARI BAND GENİSLİĞİ= 6

NOKTALARIN KOORDİNATLARI:

nokta	X	Y
1	0	0
2	100	-50
3	200	-50
4	300	0

VERİLMİŞ KUVVETLER

nokta	yon	kuvvet
2	2	-7
3	2	-7

ONGERILME KUVVETLERI:

eleman	ongerilme
1	8.78
2	7.82
3	8.79

VERILMIS SINIR SARTLARI:

nokta	yon	deplasman
1	1	0
1	2	0
4	1	0
4	2	0

DEPLASMANLAR

nokta no	delta(x)	delta(y)
1	0.000000	0.000000
2	-0.111722	-0.827810
3	0.106513	-0.817602
4	0.000000	0.000000

Çubuk kuvvetleri:

F(1)=	15.43
F(2)=	13.76
F(3)=	15.44

iterasyon sayisi= 30

erisilen hassasiyet :eps= 0.0001

-----program sonu-----

— Öngerilmeli II. yükleme hali

5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO
5020 DATA DUZLEM
5030 DATA .0001
5040 DATA 3,4
5050 DATA 2,4
5060 DATA 1728000
5070 DATA ELEMANLARIN TARIFI
5080 DATA 1,1,2,.001576,2,2,3,.001576,3,3,4,.001576
5090 DATA KOORDINATLAR
5100 DATA 1,0,0,2,100,-50,3,200,-50,4,300,0
5110 DATA KUVVETLER
5120 DATA 2,2,-4,3,2,-13
5130 DATA ÖNGERİLME KUVVETLERİ
5140 DATA 3,1,8.78,2,7.82,3,8.79
5150 DATA SINIR SARTLARI
5160 DATA 1,1,0,1,2,0,4,1,0,4,2,0
5170 DATA SON

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:

3 ELEMAN 4 NOKTALI KABLO

(DUZLEM sistem)

eleman sayisi.....= 3
nokta sayisi.....= 4
kuvvet sayisi.....= 2
sinir sarti sayisi.....= 4
elastisite modulu.....= 1729000
sistemin serbestlik derecesi.....= 12
hesap hassasiyeti.....= 0.0001

ELEMANLARIN TARIFI:

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alanı
1	1	2	0.001576
2	2	3	0.001576
3	3	4	0.001576

DENKLEM SAYISI = 8
REAKSIYON SAYISI = 4
YARI BAND GENISLIGI= 6

NOKTALARIN KOORDINATLARI:

nokta	X	Y
1	0	0
2	100	-50
3	200	-50
4	300	0

VERILMIS KUVVETLER

nokta	yon	kuvvet
2	2	-4
3	2	-13

ONGERILME KUVVETLERI:

eleman	ongerilme
1	8.78
2	7.82
3	8.79

VERILMIS SINIR SARTLARI:

nokta	yon	deplasman
1	1	0
1	2	0
4	1	0
4	2	0

DEPLASMANLAR

nokta no	delta(x)	delta(y)
1	0.000000	0.000000
2	4.370872	8.816131
3	3.429935	-7.249424
4	0.000000	0.000000

Cubuk kuvvetleri:

F(1)=	18.50
F(2)=	17.44
F(3)=	20.02

iterasyon sayisi= 31

erisilen hassasiyet :eps= 0.0001

-----program sonu-----

Ek -3. Örnek 2. İçin Bilgisayar Program Verileri Ve Çıktıları

5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 12 eleman ve 12 noktali uzay kablo sistem
5020 DATA UZAY
5030 DATA .001
5040 DATA 12,12
5050 DATA 4,24
5060 DATA 12000
5070 DATA ELEMENLARIN TARIFI
5080 DATA 1,1,4,.227,2,2,5,.227
5090 DATA 3,4,8,.227,4,5,9,.227
5100 DATA 5,8,11,0.227,6,9,12,0.227
5110 DATA 7,3,4,0.227,8,4,5,0.227
5120 DATA 9,5,6,.227,10,7,8,.227
5130 DATA 11,8,9,.227,12,9,10,.227
5140 DATA KOORDINATLAR
5150 DATA 1,-600,1800,0,2,600,1800,0
5160 DATA 3,-1800,600,0,4,-600,600,-360
5170 DATA 5,600,600,-360,6,1800,600,0
5180 DATA 7,-1800,-600,0,8,-600,-600,-360
5190 DATA 9,600,-600,-360,10,1800,-600,0
5200 DATA 11,-600,-1800,0,12,600,-1800,0
5210 DATA KUVVETLER
5220 DATA 4,3,-8,5,3,-8,8,3,-8,9,3,-8
5230 DATA DNGERILME KUVVETLERI
5240 DATA 12,1,5.325,2,5.325,3,5.459
5250 DATA 4,5.459,5,5.325,6,5.325,7,5.325
5260 DATA 8,5.459,9,5.325,10,5.325
5270 DATA SINIR SARTLARI
5280 DATA 1,1,0,1,2,0,1,3,0,2,1,0,2,2,0,2,3,0
5290 DATA 3,1,0,3,2,0,3,3,0,6,1,0,6,2,0,6,3,0
5300 DATA 7,1,0,7,2,0,7,3,0,10,1,0,10,2,0,10,3,0
5310 DATA 11,1,0,11,2,0,11,3,0
5320 DATA 12,1,0,12,2,0,12,3,0
5330 DATA SON

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:

12 eleman ve 12 noktali uzay kablo sistem

(UZAY sistem)

eleman sayisi.....= 12
nokta sayisi.....= 12
kuvvet sayisi.....= 4
sinir sarti sayisi.....= 24
elastisite modulu.....= 12000
sistemin serbestlik derecesi.....= 36
hesap hassasiyeti.....= 0.001

ELEMANLARIN TARIFI:

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alani
1	1	4	0.227
2	2	5	0.227
3	4	8	0.227
4	5	9	0.227
5	8	11	0.227
6	9	12	0.227
7	3	4	0.227
8	4	5	0.227
9	5	6	0.227
10	7	8	0.227
11	8	9	0.227
12	9	10	0.227

DENKLEM SAYISI = 12
REAKSIYON SAYISI = 24
YARI BAND GENISLIGI= 15

NOKTALARIN KOORDINATLARI:

nokta	X	Y	Z
1	-600	1800	0
2	600	1800	0

3	-1800	600	0
4	-600	600	-360
5	600	600	-360
6	1800	600	0
7	-1800	-600	0
8	-600	-600	-360
9	600	-600	-360
10	1800	-600	0
11	-600	-1800	0
12	600	-1800	0

VERILMIS KUVVETLER

nokta	yon	kuvvet
4	3	-8
5	3	-8
8	3	-8
9	3	-8

ONGERILME KUVVETLERI:

eleman	ongerilme
1	5.325
2	5.325
3	5.459
4	5.459
5	5.325
6	5.325
7	5.325
8	5.459
9	5.325
10	5.325
11	5.459
12	5.325

VERILMIS SINIR SARTLARI:

nokta	yon	deplasman
1	1	0
1	2	0
1	3	0
2	1	0
2	2	0
2	3	0
3	1	0
3	2	0
3	3	0
6	1	0

6	2	0
6	3	0
7	1	0
7	2	0
7	3	0
10	1	0
10	2	0
10	3	0
11	1	0
11	2	0
11	3	0
12	1	0
12	2	0
12	3	0

DEPLASMANLAR

nokta no	delta(x)	delta(y)	delta(z)
1	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000
4	-1.578582	1.578582-17.627154	
5	1.599755	1.601220-17.684807	
6	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000
8	-1.601220	-1.599755-17.684807	
9	1.579948	-1.579948-17.630567	
10	0.000000	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000	0.000000

Cubuk kuvvetleri:

F(1)=	13.31
F(2)=	13.30
F(3)=	12.67
F(4)=	12.68
F(5)=	13.31
F(6)=	13.31
F(7)=	13.31
F(8)=	12.67
F(9)=	13.31
F(10)=	13.30
F(11)=	12.68
F(12)=	13.31

iterasyon sayisi= 11

erisilen hassasiyet :eps= 0.001

-----program sonu-----

Ek -4. Örnek 3. İçin Bilgisayar Program Verileri Ve Çıktıları

5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 24 ELEMEN VE 21 NOKTALI KABLO SISTEM
5020 DATA UZAY
5030 DATA 0.01
5040 DATA 24,21
5050 DATA 3,36
5060 DATA 1000000000
5070 DATA ELEMENLARIN TARIFI
5080 DATA 1,3,7,.00012,2,7,12,.00012,3,12,17,.00012,4,17,21,.00012
5090 DATA 5,2,6,.00012,6,6,11,.00012,7,11,16,.00012,8,16,20,.00012
5100 DATA 9,1,5,.00012,10,5,10,.00012,11,10,15,.00012,12,15,19,.00012
5110 DATA 13,14,15,.00015,14,15,16,.00015,15,16,17,.00015,16,17,18,.00015
5120 DATA 17,9,10,.00015,18,10,11,.00015,19,11,12,.00015,20,12,13,.00015
5130 DATA 21,4,5,.00015,22,5,6,.00015,23,6,7,.00015,24,7,8,.00015
5140 DATA KOORDINATLAR
5150 DATA 1,-10,-5,-1.125,2,-10,0,-1.5,3,-10,5,-1.125,4,-5,-10,1.125
5160 DATA 5,-5,-5,0,6,-5,0,-.375,7,-5,5,0,8,-5,10,1.125,9,0,-10,1.5
5170 DATA 10,0,-5,-.375,11,0,0,0,12,0,5,-.375,13,0,10,1.5,14,5,-10,1.125
5180 DATA 15,5,-5,0,16,5,0,-.375,17,5,5,0,18,5,10,1.125
5190 DATA 19,10,-5,-1.125,20,10,0,-1.5,21,10,5,-1.125
5200 DATA KUVVETLER
5210 DATA 16,1,100,16,2,100,16,3,-150
5220 DATA DNGERILME KUVVETLERI
5230 DATA 0
5240 DATA SINIR SARTLARI
5250 DATA 3,1,0,3,2,0,3,3,0,2,1,0,2,2,0,2,3,0,1,1,0,1,2,0,1,3,0
5260 DATA 4,1,0,4,2,0,4,3,0,8,1,0,8,2,0,8,3,0,9,1,0,9,2,0,9,3,0
5270 DATA 13,1,0,13,2,0,13,3,0,14,1,0,14,2,0,14,3,0,18,1,0,18,2,0,18,3,0
5280 DATA 19,1,0,19,2,0,19,3,0,20,1,0,20,2,0,20,3,0,21,1,0,21,2,0,21,3,0
5290 DATA SON

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:

24 ELEMAN VE 21 NOKTALI KABLO SİSTEM

(UZAY sistem)

eleman sayısı.....= 24
nokta sayısı.....= 21
kuvvet sayısı.....= 3
sinir şartı sayısı.....= 36
elastisite modulu.....= 1E+09
sistemin serbestlik derecesi.....= 63
hesap hassasiyeti.....= 0.01

ELEMANLARIN TARIFI:

=====

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alanı
1	3	7	0.00012
2	7	12	0.00012
3	12	17	0.00012
4	17	21	0.00012
5	2	6	0.00012
6	6	11	0.00012
7	11	16	0.00012
8	16	20	0.00012
9	1	5	0.00012
10	5	10	0.00012
11	10	15	0.00012
12	15	19	0.00012
13	14	15	0.00015
14	15	16	0.00015
15	16	17	0.00015
16	17	18	0.00015
17	9	10	0.00015
18	10	11	0.00015

19	11	12	0.00015
20	12	13	0.00015
21	4	5	0.00015
22	5	6	0.00015
23	6	7	0.00015
24	7	8	0.00015

DENKLEM SAYISI = 27
 REAKSIYON SAYISI = 36
 YARI BAND GENISLIGI= 18

NOKTALARIN KOORDINATLARI:

nokta	X	Y	Z
1	-10	-5	-1.125
2	-10	0	-1.5
3	-10	5	-1.125
4	-5	-10	1.125
5	-5	-5	0
6	-5	0	-0.375
7	-5	5	0
8	-5	10	1.125
9	0	-10	1.5
10	0	-5	0.375
11	0	0	0
12	0	5	0.375
13	0	10	1.5
14	5	-10	1.125
15	5	-5	0
16	5	0	-0.375
17	5	5	0
18	5	10	1.125
19	10	-5	-1.125
20	10	0	-1.5
21	10	5	-1.125

VERILMIS KUVVETLER

nokta	yon	kuvvet
16	1	100
16	2	100
16	3	-150

ONGERILME KUVVETLERI:

ongerilme yok

VERILMIS SINIR SARTLARI:

DEPLASMANLAR

nokta no	delta(x)	delta(y)	delta(z)
1	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.008208	-0.000853	-0.017986
6	0.016253	-0.000625	-0.053475
7	0.006106	-0.001120	-0.009319
8	0.000000	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000	0.000000
10	0.010135	0.005332	0.007876
11	0.023608	-0.000336	-0.097253
12	0.008120	-0.006539	0.013316
13	0.000000	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000	0.000000
15	0.020201	0.039012	0.103587
16	0.005058	0.003777	-0.329666
17	0.016929	-0.032597	0.089429
18	0.000000	0.000000	0.000000
19	0.000000	0.000000	0.000000
20	0.000000	0.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000	0.000000

Cubuk kuvvetleri:

F(1)=	91.85
F(2)=	89.85
F(3)=	89.57
F(4)=	94.25
F(5)=	103.52
F(6)=	101.83
F(7)=	103.03
F(8)=	0.00
F(9)=	95.90
F(10)=	93.94
F(11)=	93.71
F(12)=	99.82
F(13)=	483.82
F(14)=	481.82
F(15)=	380.42
F(16)=	382.43
F(17)=	102.18
F(18)=	99.70
F(19)=	99.61
F(20)=	101.94
F(21)=	92.28
F(22)=	90.15
F(23)=	90.13
F(24)=	92.17

iterasyon sayisi= 148

erisilen hassasiyet : eps= 0.01

-----program sonu-----

Ek -5. Örnek 4. İçin Bilgisayar Program Verileri Ve Çıktıları

5000 DATA ANA VERILER
5010 DATA 8 ELEMAN VE 9 NOKTALI KABLO SISTEM
5020 DATA DUZLEM
5030 DATA 0.01
5040 DATA 8,9
5050 DATA 7,4
5060 DATA 21000000
5070 DATA ELEMANLARIN TARIFI
5080 DATA 1,1,2,.002,2,2,3,.002,3,3,4,.002,4,4,5,.002
5090 DATA 5,5,6,.002,6,6,7,.002,7,7,8,.002,8,8,9,.002
5100 DATA KOORDINATLAR
5110 DATA 1,0,0,2,5,-2.1875,3,10,-3.75,4,15,-4.6875,5,20,-5
5120 DATA 6,25,-4.6875,7,30,-3.75,8,35,-2.1875,9,40,0
5130 DATA KUVVETLER
5140 DATA 2,2,-12,3,2,-12,4,2,-12,5,2,-12
5150 DATA 6,2,-12,7,2,-12,8,2,-12
5160 DATA ONGERILME KUVVETLERI
5170 DATA 0
5180 DATA SINIR SARTLARI
5190 DATA 1,1,0,1,2,0,9,1,0,9,2,0
5200 DATA SON

KABLOLU ASMA SİSTEMLERİN STATİK HESABI
'SONLU ELEMANLAR METODU'
(deplasman metodu)

PROBLEM:

8 ELEMAN VE 9 NOKTALI KABLO SİSTEM

(DÜZLEM sistem)

eleman sayısı.....= 8
nokta sayısı.....= 9
kuvvet sayısı.....= 7
sınır şartı sayısı.....= 4
elastisite modulu.....= 21000000
sistemin serbestlik derecesi.....= 27
hesap hassasiyeti.....= 0.01

ELEMANLARIN TARIFI:

=====

ELEMAN	i-noktasi	j-noktasi	kesit alanı
1	1	2	0.002
2	2	3	0.002
3	3	4	0.002
4	4	5	0.002
5	5	6	0.002
6	6	7	0.002
7	7	8	0.002
8	8	9	0.002

DENKLEM SAYISI = 23

REAKSIYON SAYISI = 4

YARI BAND GENİSLİĞİ= 6

NOKTALARIN KOORDİNATLARI:

=====

nokta	X	Y
1	0	0
2	5	-2.1875
3	10	-3.75
4	15	-4.6875
5	20	-5

6	25	-4.6875
7	30	-3.75
8	35	-2.1875
9	40	0

VERILMIS KUVVETLER

<u>nokta</u>	<u>yon</u>	<u>kuvvet</u>
2	2	-12
3	2	-12
4	2	-12
5	2	-12
6	2	-12
7	2	-12
8	2	-12

ONGERILME KUVVETLERI:

ongerilme yok

VERILMIS SINIR SARTLARI:

<u>nokta</u>	<u>yon</u>	<u>deplasman</u>
1	1	0
1	2	0
9	1	0
9	2	0

DEPLASMANLAR

=====

nokta no	delta(x)	delta(y)
1	0.000000	0.000000
2	-0.015061	-0.066362
3	-0.018038	-0.115879
4	-0.011995	-0.145396
5	-0.001354	-0.153364
6	0.008980	-0.140269
7	0.014610	-0.108276
8	0.012272	-0.060440
9	0.000000	0.000000

Cubuk kuvvetleri:

=====

F(1)=	101.66
F(2)=	97.41
F(3)=	94.57
F(4)=	93.25
F(5)=	93.45
F(6)=	95.11
F(7)=	98.15
F(8)=	102.47

iterasyon sayisi= 53

erisilen hassasiyet :eps= 0.01

-----program sonu-----

Ek -6 JAYARAMAN-KNUDSON Metoduna Ait Bilgisayar Programı

```
10 REM test icin kullanılan bilgisayar:AMSTRAD CPC6128
20 INPUT "Ekran icin: 0 Yazici icin: 8 ", KAZ
30 PRINT#KAZ
40 REM bu program duzgun yayili yuk altindaki basit
50 REM kablolarin statik hesabina aittir.
60 PRINT#KAZ
70 PRINT#KAZ,"      BASIT KABLOLARIN STATIK HESABI"
80 PRINT#KAZ,"      ====="
90 PRINT#kaZ
100 PRINT#KAZ
110 '
120 REM TANIMLAR
130 REM E...:kablo malzemesinin Elastisite modulu
140 REM A...:kalo kesit alani
150 REM w...:kablunun birim boyuna gelen agirlik
160 REM Lu...:kablo elemaninin ilk (gerilmemis) uzunlugu
170 REM EPS...:hesap yaklasim araligi
180 REM (Xi,Yi,Zi);(Xj,Yj,Zj) :koordinatlar
190 '
200 REM VERILERIN OKUTULMASI
210 READ D1$'VERILER
220 IF D1$<>"VERILER" THEN GOTO 960
230 READ D2$'E A w Lu EPS
240 IF D2$<>"E A w Lu EPS" THEN GOTO 960
250 READ E,A,w,Lu,EPS
260 READ D3$'KOORDINATLAR
270 IF D3$<>"KOORDINATLAR" THEN GOTO 960
280 READ Xi,Yi,Zi,Xj,Yj,Zj
290 READ D4$'SON
300 IF D4$<>"SON" THEN GOTO 960
310 '
320 PRINT#KAZ,"  VERILER"
330 PRINT#KAZ,"  ====="
340 PRINT#KAZ
350 PRINT#KAZ,"  Elastisite modulu.....=";E
360 PRINT#KAZ,"  Kesit alani.....=";A
370 PRINT#KAZ,"  Birim boy agirligi.....=";w
380 PRINT#KAZ,"  Kablo ilk boyu.....=";Lu
390 PRINT#KAZ,"  Hesap hassasiyeti.....=";eps
400 PRINT#KAZ,"  Nokta koordinatlari....=";"Xi=";Xi,"Xj=";Xj
410 PRINT#KAZ,"                      ";"Yi=";Yi,"Yj=";Yj
420 PRINT#KAZ,"                      ";"Zi=";Zi,"Zj=";Zj
430 '
440 PRINT#KAZ:PRINT#KAZ
```



```

450 REM KOORDINAT HESAPLARI
460 sb=(Xj-Xi)/((Xj-Xi)^2+(Yj-Yi)^2)^0.5
470 cb=(1-sb^2)^0.5
480 H=Xj*sb+Yj*cb-(Xi*sb+Yi*cb)
490 V=Zj-Zi
500 REM KABLO KUVVETLERI
510 Lr=((H^2+V^2)^0.5)
520 IF H=0 OR Lu<Lr THEN lamda=0.2 ELSE GOTO 540
530 GOTO 550
540 lamda=(3*((Lu^2)-(V^2))/(H^2)-1)^0.5
550 f1=-w*H/(2*lamda)
560 sh=(EXP(lamda)-EXP(-lamda))/2
570 ch=(EXP(lamda)+EXP(-lamda))/2
580 f2=(w/2)*((-V*ch/sh)+Lu)
590 f3=-f1 : f4=-f2+w*Lu
600 f11=f1:f22=f2:f33=f3:f44=f4
610 f3=-f1
620 f4=-f2+w*Lu
630 PRINT, "H=";H,"V=";V
640 PRINT, "f1=";f1;"f2=";f2;"f3=";f3;"f4=";f4
650 ti=((f1^2)+(f2^2))^0.5
660 tj=((f3^2)+(f4^2))^0.5
670 Hax=-f1*(Lu/(E*A))+LOG((tj+f4)/(ti-f2))/w
680 Vax=((tj^2)-(ti^2))/(2*E*A*w)+(tj-ti)/w
690 dh=H-Hax : dv=V-Vax
700 PRINT, "HAX=";Hax,"VAX=";Vax
710 PRINT, "dH=";dh,"dV=";dv
720 IF ABS(dh)<EPS AND ABS(dv)<EPS THEN GOTO 850
730 e1=(H/f1)+(1/w)*((f4/tj)+(f2/ti))
740 e2=(f1/w)*((1/tj)-(1/ti))
750 e3=(f1/w)*((1/tj)-(1/ti))
760 e4=(-1/w)*((f4/tj)+(f2/ti))-(Lu/(E*A))
770 d=e1*e4-e2*e3
780 a1=e4/d
790 a2=-e3/d
800 a3=-e2/d
810 a4=e1/d
820 f1=f1+a1*dh+a2*dv
830 f2=f2+a3*dh+a4*dv
840 GOTO 610
850 PRINT:PRINT
860 REM SONUCLAR
870 '
880 PRINT#ka%," SONUCLAR"
890 PRINT#ka%," ====="
900 PRINT#ka%
910 PRINT#ka%," Yatay aciklik.....=";H

```

```

920 PRINT#ka%, " Dusey kot farki.....=";V
930 PRINT#ka%, " Kablo kuvvetleri----> fix=";f1;"fiy=";f2,"FI=";ti
940 PRINT#ka%, "                fjx=";f3;"fjy=";f4,"FJ=";tj
950 GOTO 980
960 PRINT "-----> veri hatasi.....!":STOP
970 END
980 '
990 DATA VERILER
1000 DATA E A w Lu EPS
1010 DATA 2e7,.001,.1,110,.000001
1020 DATA KOORDINATLAR
1030 DATA 0,0,0,0,90,20
1040 DATA SDN

```

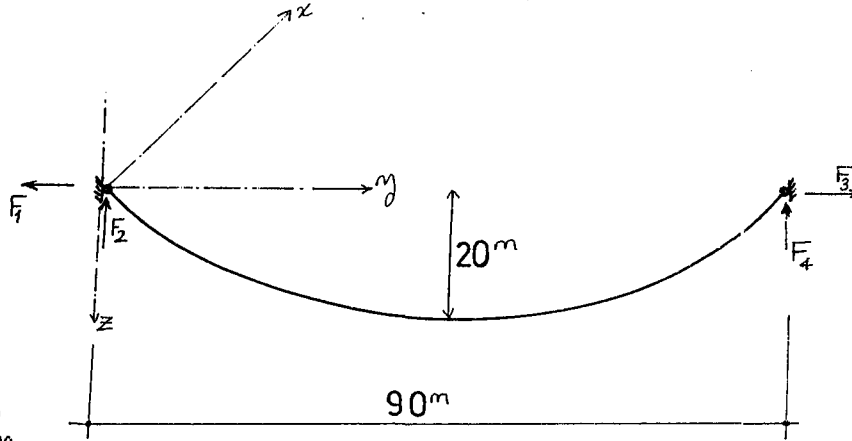
BASIT KABLULARIN STATIK HESABI

VERILER

```

=====
Elastisite modulu.....= 20000000
Kesit alanı.....= 0.001
Birim boy ağırlığı.....= 0.1
Kablo ilk boyu.....= 110
Hesap hassasiyeti.....= 0.000001
Nokta koordinatları....=Xi= 0      Xj= 0
                          Yi= 0      Yj= 90
                          Zi= 0      Zj= 20

```



SONUCLAR

```

=====
Yatay aciklik.....= 90
Dusey kot farki.....= 20
Kablo kuvvetleri----> fix=-4.2032383 fiy= 4.23395254      FI= 5.96603438
                      fjx= 4.2032383 fjy= 6.76604746      FJ= 7.96533806

```

ÖLÇÜ SİSTEMLERİNİN DÖNÜŞÜMLERİ

Uzunluk Ölçüleri=

$$(\text{in}) \ 1 \text{ inch} = 0,0833 \text{ ft} = 25,40 \text{ mm} = 2,54 \text{ cm} = 0,0254 \text{ m}$$

$$(\text{ft}) \ 1 \text{ foot} = 12,0 \text{ inc} = 304,8 \text{ mm} = 30,48 \text{ cm} = 0,3048 \text{ m}$$

Yüzey Ölçüleri=

$$(\text{in}^2) \ 1 \text{ inch kare} = 0,006944 \text{ ft}^2 = 6,452 \text{ cm}^2 = 0,0006452 \text{ m}^2$$

$$(\text{ft}^2) \ 1 \text{ foot kare} = 144,00 \text{ inc}^2 = 929,00 \text{ cm}^2 = 0,0929 \text{ m}^2$$

Hacim Ölçüleri =

$$(\text{in}^3) \ 1 \text{ inch küp} = 0,0005787 \text{ ft}^3 = 16,390 \text{ cm}^3 = 1,639 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$(\text{ft}^3) \ 1 \text{ foot küp} = 1728,000 \text{ inc}^3 = 28320,000 \text{ cm}^3 = 0,02832 \text{ m}^3$$

Yük Ölçüleri =

$$(\text{lb}) \ 1 \text{ libre(pound)} = 0,454 \text{ kg} = 0,000454 \text{ ton}$$

$$(\text{K}) \ 1 \text{ Kip} = 1000 \text{ lb} = 0,454 \text{ ton}$$