

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Katlanmış Plakların Analiz Yöntemleri

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nabî Yüzer

1992

105
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTUSU

KATLANMIŞ PLAKLARIN ANALİZ YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞ. MÜH. NABİ YÜZER

İSTANBUL 1992

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	: R 150 : 223
Alındığı Yer	: Y.T.Ü
Tarih	: 22.8.1995
Fatura	: -
Fiyatı	: 40.000 TL.
Ayniyat No	: 1-16
Kayıt No	: 51523
UDC	:
Ek	:

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAI. BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KATLANMIŞ PLAKLARIN ANALİZ YÖNTEMLERİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞ. MÜH. NABİ YÜZER

İSTANBUL 1992

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmam süresince yakın ilgisi ve yol göstericiliği için,
danışmanım Sayın Hocam Prof.İbrahim EKİZ'e içten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY

1. GENEL	1
1.1. Giriş	1
1.2. Esas Elemanlar ve Çalışma Şekli	2
1.3. Katlanmış Plakların İmkanları ve Boyutları	3
1.4. Ön Gerilmeli Katlanmış Plaklar	6
1.5. Katlanmış Plak Uygulamaları	7
2. KATLANMIŞ PLAK KESİTLERİN EĞİLME MOMENTİNE GÖRE HESABI ...	14
2.1. Giriş	14
2.2. Basing Donatısı Bulunması Durumu	14
2.3. Basing Donatısı Bulunmaması Durumu	17
2.4. Pekleştirilmemiş Kesit İçin	17
3. YİTZHAKİ METODU	18
3.1. Giriş	18
3.2. Tanımlar ve Kabuller	18
3.3. Ayrıt Yükleri İçin Plak-Kiriş Analizi	20
3.3.1. Esas Sistem	20
3.3.2. Hatalar	20
3.3.3. Düzeltme Kuvvetleri	21
3.3.4. Uygunluk	21
3.4. Sayısal Örnek	30
4. GİRKMAN METODU	39
4.1. Hesapta Kullanılan Kabuller	39
4.2. Mafsallı Sistemin Hesabı	40
4.3. Düğüm Noktaları Rijit Sistem	44
4.4. Sayısal Örnek	53
5. KATLANMIŞ PLAKLAR İÇİN PRATİK HESAP METODU	58
5.1. Giriş	58
5.2. Prizmatik Mafsallı Katlanmış Plaklar	59
5.2.1. Hesap Esasları	59
5.2.2. Yardımcı Alan Metodu	60
5.2.3. Mesnet Levhasının Yükleri	72
5.3. Düğüm Noktaları Rijit Katlanmış Plaklar	74
5.3.1. Hesap Esasları	74
5.3.2. İki Tarafından Serbest Katlanmış Plaklar	80
5.4. Sayısal Örnek	84

5.4.1. Basit Mafsallı Katlanmış Plak	85
5.4.2. Levha Enkesit Yüzeyle Eşit Sürekli Mafsallı K.P..	87
5.4.3. Düğüm Noktaları Rijit İki Ucu Serbest Katlanmış p..	89
5.5. Tablolar	108
6. GENEL RİJİTLİK METODU	110
6.1. Giriş	110
6.2. Açıklık Boyunca Yük Dağılımı	111
6.3. Serbestlik Derecesi	111
6.4. Eleman Kuvvet ve Deplasmanları	111
6.5. Koordinat Sistemleri	111
6.6. Esas Kabuller	114
6.7. Koordinat Sistemlerinin Dönüşümü	114
6.8. Kuvvetler ve Deplasmanların Fourier Bileşenleri	116
6.9. Yalnız Ayrıt Yüklerine Maruz Sisteme Ait Çözüm	117
6.10. Eleman Rijitlik Matrisinin Teşkilî-Elastik Teori ...	121
6.11. Ankastre Kenar Kuvvetleri	124
6.12. Plâğin Herhangi Bir Noktasındaki Momentleri	126
7. GENEL RİJİTLİK METODUNA GÖRE HAZIRLANMIŞ BİLGİSAYAR PROG..	131
7.1. Giriş Bilgileri	131
7.2. Çıkış Bilgileri	131
7.3. Sınırlamalar ve Gerekli Şartlar	131
7.4. Alt Programlar	132
7.5. Notasyonlar	132
7.6. Akış Diyagramları	135
7.7. Programın Listesi	138
7.8. Sayısal Örnek	158
8. SONUÇ	172

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Bu çalışmada, ayrıt noktalarındaki sınır koşulları belli olan prizmatik bir katlanmış plağın analizi için çeşitli metotlar verilmiştir. Çalışma yedi bölüme olmaktadır.

Birinci bölümde katlanmış plakların konstrüksiyon esasları, ikinci bölümde uzay taşıyıcı bir kiriş olarak düşünülen katlanmış plak kesitin eğilme momentine göre hesabı verilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü bölümlerde Yitzhaki ve Girkman'ın katlanmış plaklar için tek boyutlu basitleştirilmiş analizleri sunulmaktadır. Beşinci bölümde Yardımcı Alan Metodu adı altında pratik hesap metodu incelenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde elastik plak teorisi ve levha teorisinden yararlanılarak tek plağa ait rijitlik matrisinin kullanıldığı Genel Rijitlik Metodunun uygulaması verilmiştir. Son bölümde bu metot için bir bilgisayar programı tanımlanmıştır.

SUMMARY

In this work, different methods for the analysis of a prismatic folded plate with arbitrary boundary conditions along the longitudinal joints or folds were presented. This thesis consists of seven parts.

In the first and the second parts, the constructional principles and the analysis with bending moment of a folded plate which is assumed as a beam are given by sequence.

In the third and the fourth parts the Yitzhaki and Girkman's simplified analysis for a folded plate of one-dimension, are presented by sequence. In the fifth part, a practical method which is called Substitute Surface Method is explored.

In the sixth part, the usage of both slab theory and the elasticity plate theory in the development of the element stiffness matrix for the General Stiffness Method application is given and a computer program is described for this method in the final part.

1. GENEL

1.GİRİŞ

Bir katlanmış plak sistemi boylamsal olarak bir açıklığı kaplayan ve birbirlerine boylamsal ayrıtlar boyunca 180 dereceden farklı bir açıda yekpare olarak birleştirilmiş bir ince plak sistemi olarak tanımlanır.

Katlanmış plaklar, kalınlığı diğer boyutlarına göre küçük düzlem elemanlarla teşkil edilen uzay yüzeysel taşıyıcılardır. Düzlem elemanlar çok çeşitli şekillerde kullanılabilirler.

Dikdörtgen levhalarla teşkil edilen bu tip taşıyıcılara Prizmatik Katlanmış Plaklar adı verilir. Bunlar mesnetlerinde, alın duvarı adı verilebilecek, enine doğrultudaki düşey levhalarla birbirlerine göre yer değiştirmeyecek şekilde rijitleştirilmek zorundadır. Bu alın levhaları yerine aynı işi görebilecek çerçeveler de kullanılabilir.

Katlanmış Plak biçimindeki taşıyıcılara eski yapılarda rastlanmaktadır. Bu tür yapı oldukça yenidir. İlk araştırmalar çelik sandık profiller için yapılmıştır. 1927 yılında yapılan bir inşaatla ilk betonarme katlanmış plak, silindirik kabukları n değişik bir şekli olarak ortaya çıkmıştır. Bu yapı tarzı için bütün alanı tek bir parça halinde inşa etme imkanının veren ve eğilmeye de mukavim olan betonarme uygun bir malzemedir.

Katlanmış plak sistemlerinin sık kullanılmasında iki önemli neden vardır:

- (1) Bu sistemler nisbetan basit kalıplarla ve az malzeme ile büyük açıklıkları örtebilirler.
- (2) Çoğu zaman insanları cezbeden göz alıcı bir görünüşleri vardır.

Teorik olarak sürekli eğriliği haiz kabuklardan daha fazla malzeme gerektirirlerse de eğri olmadıkları için inşa edilmeleri daha kolaydır, daha ekonomiktir.

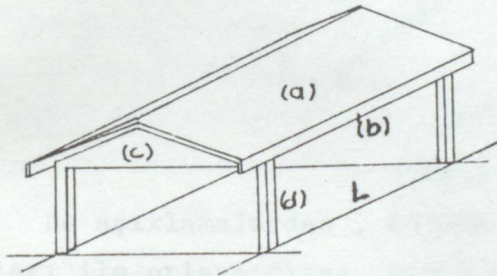
Bir katlanmış plağın kalıbı yatay bir döşemeninki kadar basit ve yaklaşık olarak aynı fiyata yapılabilir. Buna karşılık aynı açıklık için çok daha az çelik ve beton sarfedilir.

Donatının yerleştirilmesi ve betonlamada da eğri yüzeylerdeki gibi güçlükler yoktur. Çatı örtüsü kolaylıkla yapılabilir ve yağmur sularının akıtılması için dereler kendiliğinden ortaya çıkar. Ayrıca eğri yüzeylerin kompleks kalıpları ancak bir çok defa kullanılmaları ile ekonomik hale gelebilirler. Bu bakımlardan katlanmış plaklar küçük alanlar için gerek düz kirişli döşemelere, gerekse eğri yüzeyli kabuklara göre öncelikle uygulanabilir.

Özet olarak, katlanmış plaklar uzay taşıyıcıların en basitidir, projesini yapmak kolaydır ve düzlem yüzeyleri inşaatçıya genellikle donatı, kalıp ve betonlamada az zahmet verir.

1.2. ESAS ELEMANLAR VE ÇALIŞMA ŞEKLİ

Bir katlanmış plak sistemindeki başlıca elemanları basit bir eğik çatı örneği üzerinde gösterelim. (Şekil 1.1)

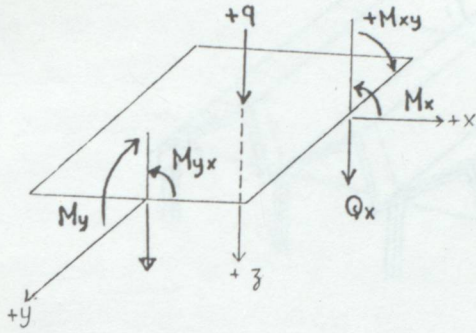


- (a) Eğik plâkları,
- (b) Kenar elemanları,
- (c) Alın levhaları veya rijit çerçeveler,
- (d) Kolonlar.

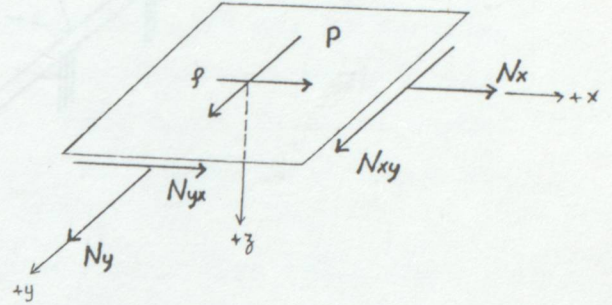
Şekil 1.1.

Bu sistemde kuvvetler, plağın iç kuvvetleri vasıtasıyla tempan duvarlarına iletilir. Burada plaklar, esas itibarıyla, kendi düzlemleri içerisinde tesir eden kuvvetlere: Levha Kuvvetlerine (Şek.1.2,a) maruz kalır. Levha tesirlerinin yanı sıra plak tesirleri de meydana gelir. Zira dış yükler (kendi ağırlıkları, kar yükü, rüzgar yükü, toprak basıncı) plak düzlenine dik olarak (Şek.1.2.b) tesir eden yan kuvvetleri de ihtiva ederler.

Boyuna doğrultudaki bu levha çalışması, bütün sistem birlikte düşünüldüğünde (d) genişliğinin, (L) uzunluğuna küçük oranlarında ($d/L=0.3$), bir uzay kiriş gibi gözönüne alınabilir. Böylece bir uzay kiriş kesitinde tarafsız eksen, basınca çalışan alan ve kirişin

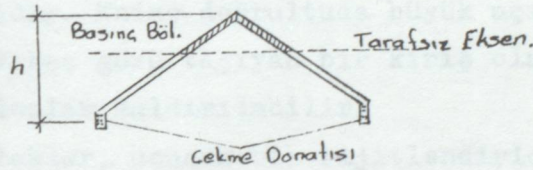


(Şek.1.2.a)



(Şek.1.2.b)

(h) yüksekliği şekil 1.3 de gösterilmiştir.



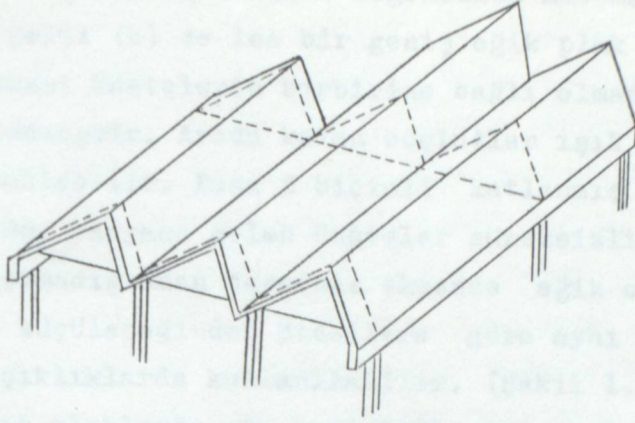
(Şekil, 1.3)

Bu açıklamalardan , düzlem elemanların uygun biçimde kullanılmalari ile ortaya çıkan kırık yüzeyli sistemin bir uzay yüzeysel taşıyıcı olarak çalışmakta olduğu, busebeple taşıma gücünün aynı elemanların yatay kullanılmaları haline göre çok artmış bulunduğu belirmektedir.

1.3. KATLANMIŞ PLAKLARIN İMKANLARI VE BOYUTLARI

Katlanmış plaklar çeşitli memleketlerde çok değişik biçimlerde uygulanmışlar ve geniş yayılma imkanı bulmuşlardır.

Böyle bir sistem tek gözlü ve tek açıklıklı olduktan başkabir kaç gözün yanyana gelmesi ve çok açıklıklı olarak düzenlenmesi de mümkündür. (şek. 1.4.). Açıklıklar eşit ya da farklı olabilir. Bir kaç göz yan yana gelirse, genel olarak dış kenardakiler hariç olmak üzere kenar elemanlar yapılmayabilir. Kenar elemanlar düşey, yatay,

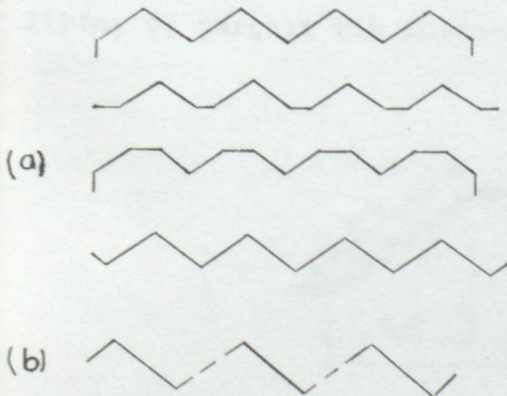


(Şekil 1.4)

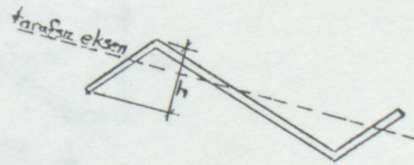
eğik olabilir. Kolonlar arsında enine doğrultuda alın levhaları ya da basınç ve çekmeye dayanıklı kirişler bulunmalıdır. Boyuna doğrultuda çok açıklıklı olan bir sistemde yalnız kenar kolonlarda değil, orta kolonlarda da aynı alın levhaları yada kirişlerin bulunması gereklidir. Enine doğrultuda büyük açıklık istenirse, alındaki levhayı birkaç gözü taşıyan bir kiriş olarak düzenlemek şartı ile aradaki kolonlar kaldırılabilir.

Katlanmış Plaklar,, ucunda bir rijitlendirici olmaksızın alın levhaları üzerinden dışarıya doğru uzatılarak konsol şeklinde de yapılabilir. Bu saçak, kiriş gibi düşünülen sistemin açıklık momentini azaltıcı olarak da yararlıdır.

Bir göz içinde plak birçok kere katlanmış olabilir. Katlanmış Plaklarda çeşitli enkesit biçimleri kullanılabilir. (Şekil 1.5)



(Şekil 1.5)

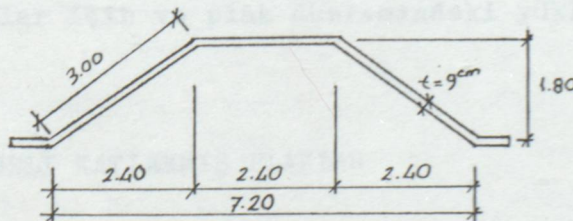


(Şekil 1.6)

Şekil (a) da görülenler enine doğrultuda mütemadi plak olarak çalışırlar. Şekil (b) de ise bir geniş eğik plak ve iki küçük kenar plaktan ibaret ünetelerin birbirine bağlı olmadan yanyana gelmesi ile biçimlenmiştir. Arada kalan boşluklar ışık ve havalandırma için kullanılabilir. Buna Z biçimli katlanmış plak adı da verilir. Bu plaklarda, yanyana gelen üniteler süreksizlikleri nedeniyle birlikte çalışmadığından tarafsız eksende eğik olur. Bu sebeple yükseklikleri küçüleceğinden ötekilere göre aynı boyutlarla ancak daha küçük açıklıklarda kullanılabilir. (Şekil 1.6)

Katlanmış plaklarda göz genişliği plak genişliğine bağlı olduğundan çok fazla olamamaktadır. Çünkü $3.5-4^m$ den daha büyük plak genişliği için plak kalınlığı birden artar, sistemin hafif ve ekonomik olma özelliği kaybolur. Enine doğrultuda mütemadi plakların büyük olan mesnet momentlerini karşılamak üzer yalnız arkesitler civarında kalınlığı artırarak plağın fazla ağırlaşmasına engel olunabilirse de bu da şekil üstte olursa betonlamayı, altta olursa kalıplı güçleştirmekte görünüşü bozmaktadır.

Plakların boyutları göz genişliği ve açıklığa bağlıdır. Sistemin yüksekliği (h) açıklığın yaklaşık olarak $1/10$ ' i kadar olmalıdır. Plağın max eğimi betonlama sırasında üstte ikinci bir kalıplı gerektirmemesi şartına göre tesbit edilir. Aksi halde sistem ekonomik olmaktan çıkar. Eğiklik 45 derece oluncaya kadar tek kalıpla beton dökülebilirse de bugösterilecek özel itinaya ve betonun az sulu olmasına bağlıdır. Bu sebeple 40 dereceyi aşmamak ve pratik olarak düşeyde 3 yatayda 4 birim almak suretiyle eğimini (yaklaşık 37der.) maksimum kabul etmek tavsiye edilmiştir. (Şekil 1.7)'de 18 m açıklıkta, üç parçalı bir katlanmış plağın enkesiti örneklendirilmiştir.



(Şekil 1.7)

Çatı yüzeylerinde, betonarme kiriş ve plaklarda olduğu gibi, delikler yapılabilir. Açıklığın ortasında bulunmaması gereken büyükçe boşlukların çevresinde ikinci derece tesirlerin artacağına özellikle dikkat etmek gerekir. Boşlukların yanında enine donatı artırılmalı ve genellikle betonarme plaklarda bu gibi durumlarda uygulanan kurallar gözönüne alınmalıdır. Zaten alın ve yanlar tamamen açılabilceğinden yeterli ışık buralardan sağlanabilir. Zorunlu kalındığı takdirde Z biçimli plaklar kullanılabilir.

Plakların kalınlığı için bazı şartnamelerde ayrıca bir kayı t bulunmadığından çatı plakları olduğu düşünülerek 5 cm 'ye kadar inilmektedir. Ancak, plaklar aynı zamanda levha olarak çalıştığından bu incelik sakıncalı olmaktadır. Bu sebeple yüzeysel taşıyıcılar için şartnameleri gözönünde bulundurarak plak kalınlığını en az 7 cm almak daha uygundur. Genellikle bu minimum değrin altına inmemek şartıyla plakları genişliklerinin 1/30 'i kadar kalınlıkta yapmak ($t=d/30$) pratik sonuç vermektedir.

Katlanmış plaklar çeşitli geometrik şekillerde olabilir. Bunlar geometrik, Yarı prizmatik (kesik pramit), Pramit, Bükülmüş olarak sınıflandırılabilir.

Buraya kadar anlattıklarımızda katlanmış plaklarla meydana getirilen çatı konu olarak alınmıştır. Oysa katlanmış plakların çalışma şeklinin özelliği dolayısıyla çok geniş bir alanda kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Örneğin silo tabanları, merdivenler, hatta binalarda kat döşemeleri de bu esasa göre inşa edilebilir.

Katlanmış Plak Metodu, fourier serilerini kullanarak, ideal olarak iki uçunda basit mesnetli sandık kesitli körrülere de uygulanabilmektedir. Köprü boyuna ayrıtlar boyunca birleştirilmiş bir seri dikdörtken plak olarak düşünülebilir. Her plak ilk önce plak düzlemine dik yükler için ve plak düzlemindeki yükler için analiz edilebilir.

1.4. ÖN GERİLMELİ KATLANMIŞ PLAKLAR

Katlanmış plaklar ön gerilme verilmesi için de uygundur. Böylece bütün öngerilmeli beton kullanılan sistemlerde olduğu gibi

boyutların küçülmesi ve deformasyonların azalması mümkün olur. Özellikle serbest kenarlardaki sehimlerin azalması, önemli sehim yapan sistemlerin kullanılma imkanını artırır. Bu bakımdan öngerilme verme biçimini çekme gerilmelerini ortadan kaldırmak ve sehimleri azaltmak isteklerine göre düzenlemek gerekir.

Büyük açıklıklarda çelik çubukların standart boyları yetmediğinden donatının eklenmesi plakların inceliği yüzünden zorluk yaratır. Açıklık büyüdükçe öngerilme bu bakımdan da faydalı olur.

1.5. KATLANMIŞ PLAK UYGULAMALARI

Resim 1. Hamburg'da yük istasyonu peron çatısı

Resim 2. Buschhütten'de bir fabrikanın toplantı salonu

İki parçalı, geniş elemanlarla meydana getirilen bir katlanmış plak çatı. Açıklığı 12.50 m ve plak kalınlığı 12 cm. Bir üçgen enkesitin tabanı 8.0 m, yüksekliği 1.2 m dir. Resim 2a'da içeriden bir görüntü, Resim 2b'de ise uygulama görülmektedir.

Resim 3. Düsseldorf' ta süs eşyaları sergi yapısı

Bu katlanmış plak kelebek şeklinde bir enkesite sahiptir ve beyuna doğrultuda öngerilmelidir. Şekilde donatısı ve tamamlanmış durumu görülmektedir.

Resim 4. Köln'de bir meslekoku atölyesi

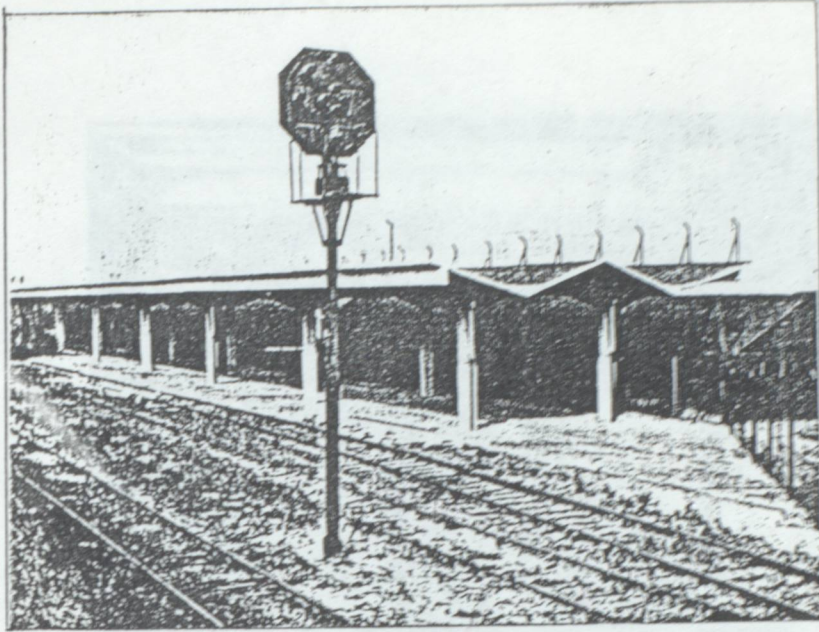
Burada Şed sistemi bir yapısında katlanmış plaklarla yapılabileceği görülmektedir. Bu enkesit formuyla uygulamada aydınlatma sorunu da çözümlenmektedir.

Resim 5. Milanoda Pellegrino yükleme istasyonu

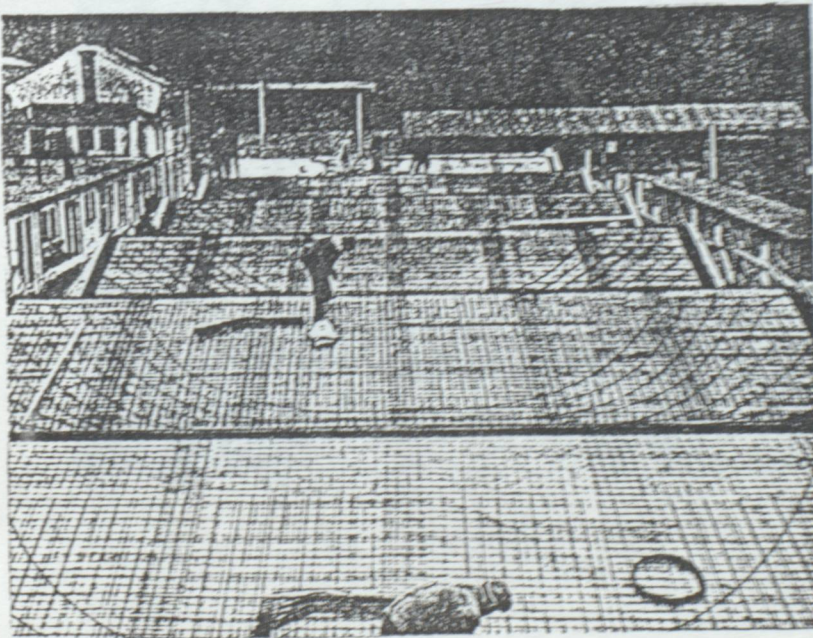
Burada yaklaşık 600 m² taban alanında iki katlı bir yapı inşa edilmiştir. Bu çatı konstrüksiyonu öngerilmeli katlanmış plak yapımından daha basittir. Katlanmış plağın açıklığı yaklaşık 15 m dir. Bu açıklığın her iki tarafındaki kenar elemanlar devam etmektedir. Şekildeki katlanmış plağın plak kalınlığı 7 cm dir. Kenarda herbiri Ø5 lik 6 tel den oluşan 3 kablo bulunmaktadır. Donatılar 30 cm aralıkla 5 mm lik yüksek kaliteli çelik tellerdedir. Resimde ayrıca alın levhası ve konsollar, her kolonun yanından inen yağmur suyu boruları görülmektedir.

Resim 6. Bağlayıcı Levhe Donatıları

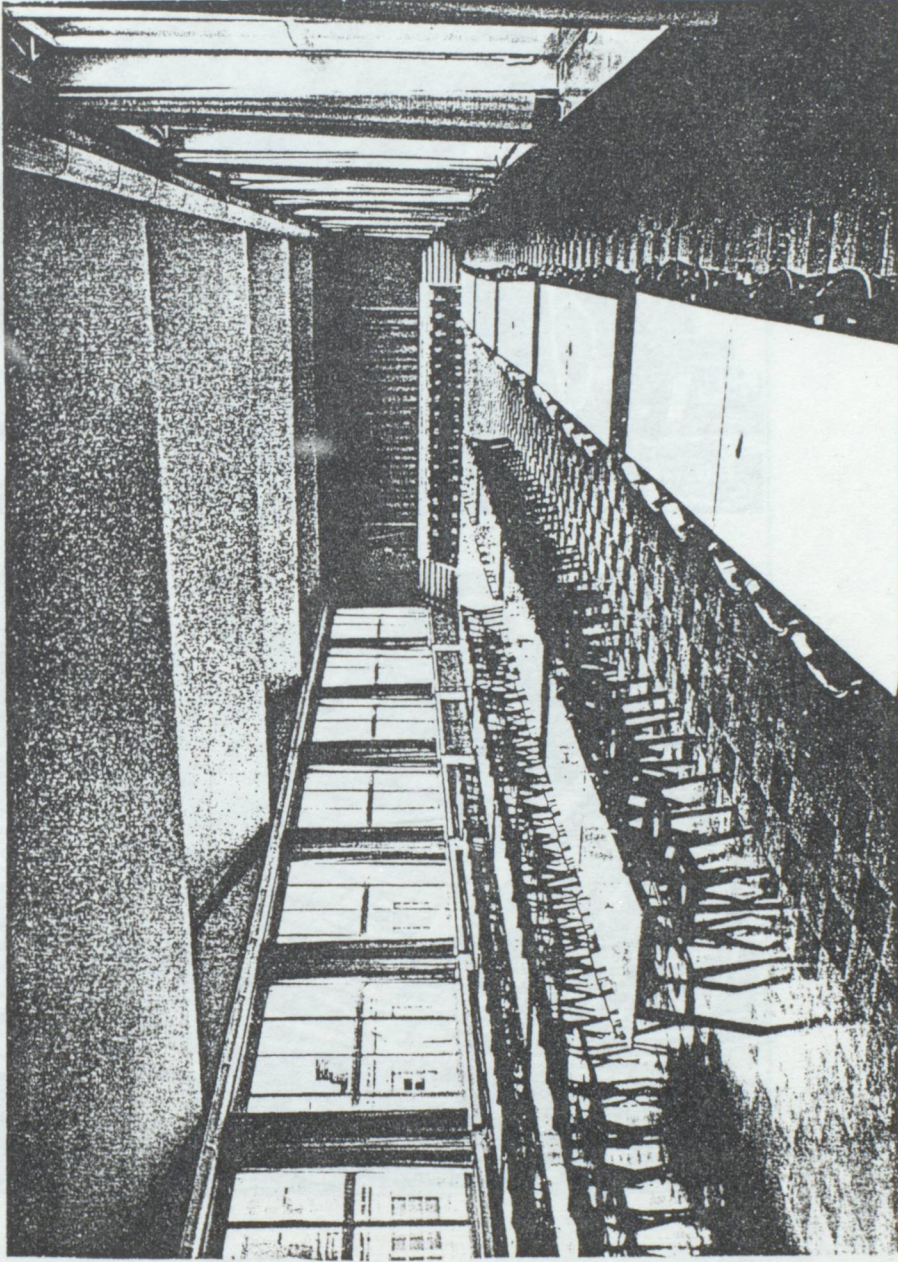
Resim 7. Bir Katlanmış Plak Normal Enkesiti



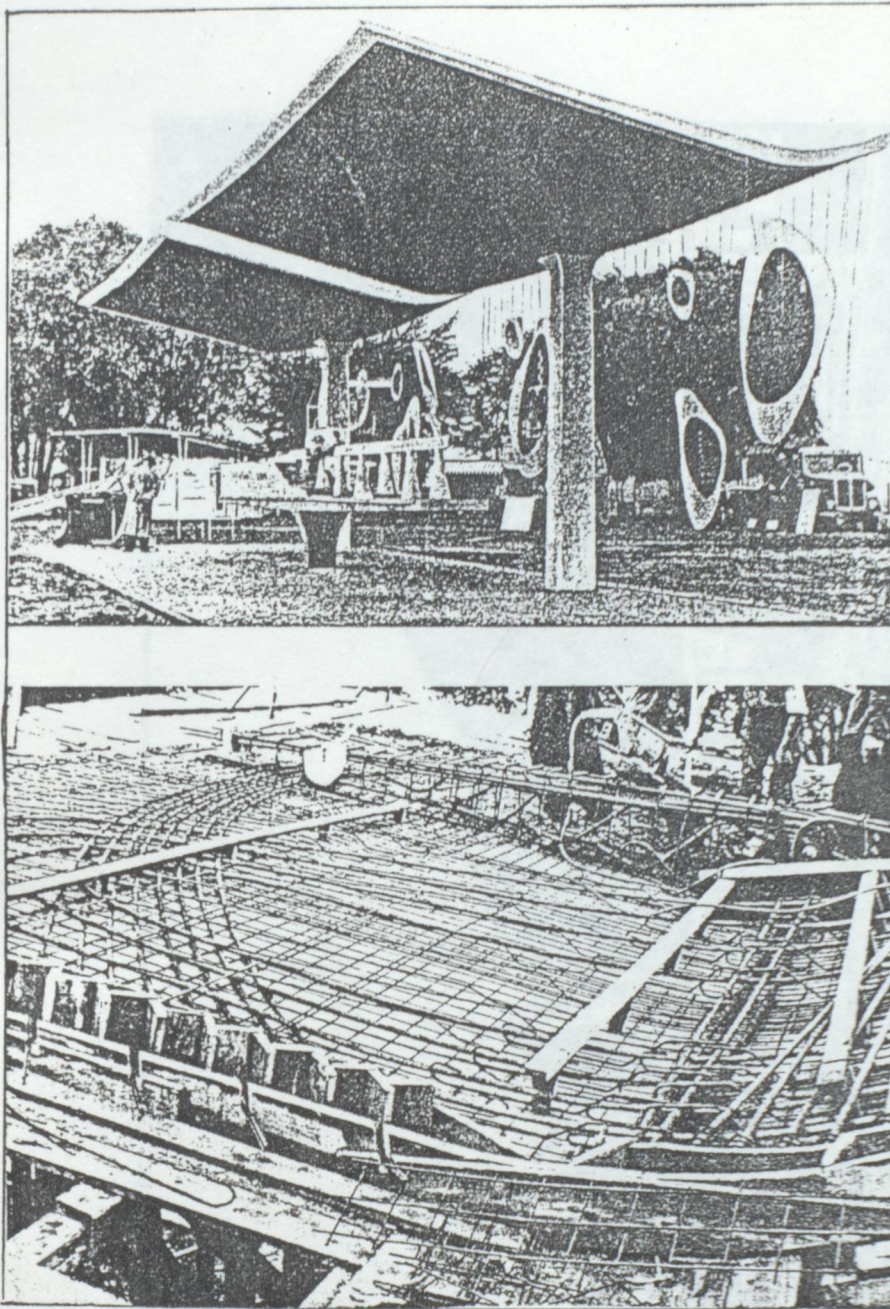
Resim 1.



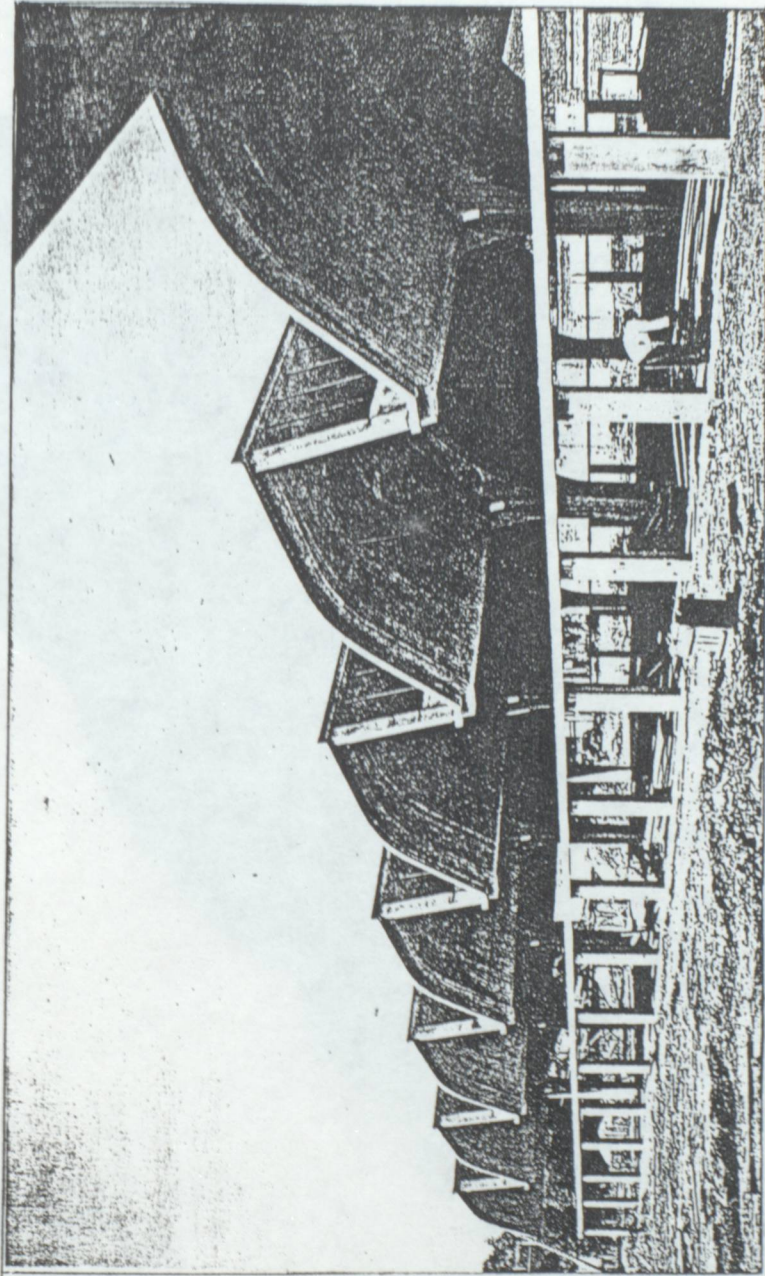
Resim 2.b



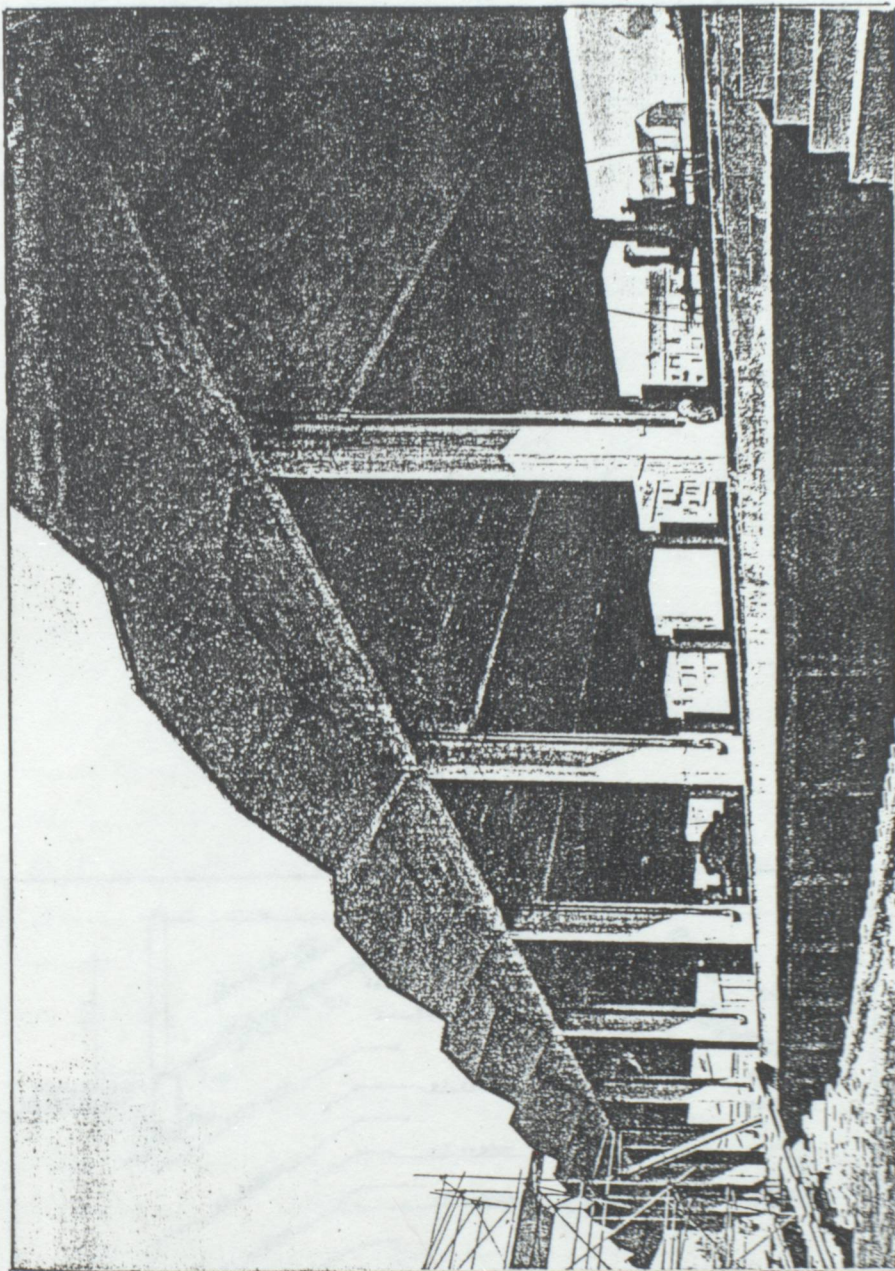
Resim 2.a



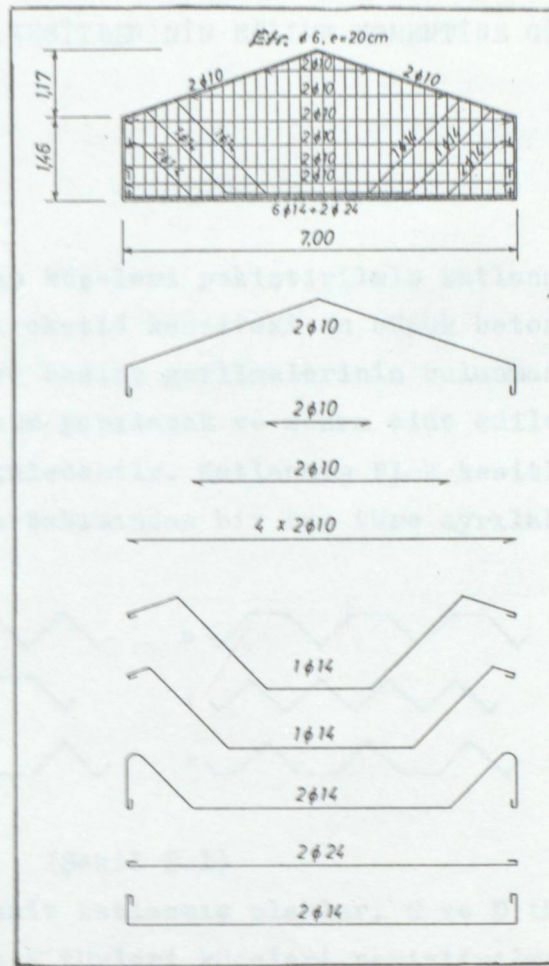
Resim 3.



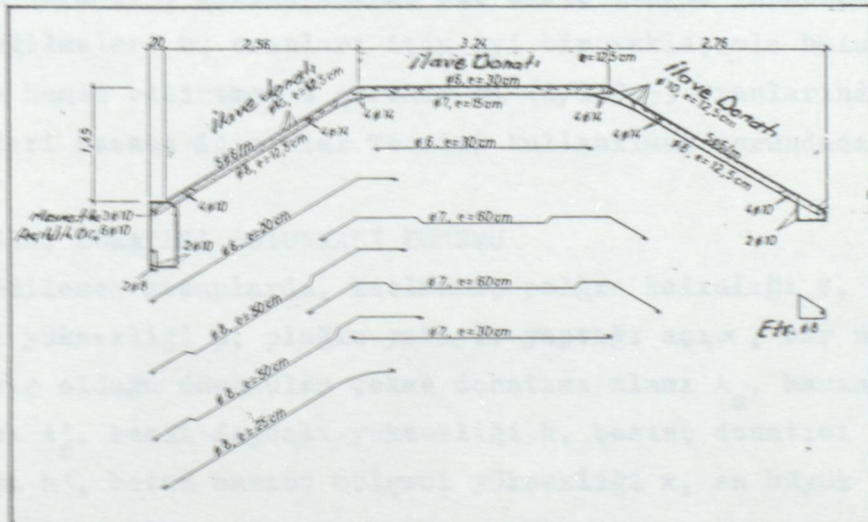
Resim 4.



Resim 5.



Resim 6.



Resim 7.

2.KATLANMIŞ PLAK KESİTLERİNİN EĞİLME MOMENTİNE GÖRE HESABI

2.1 GİRİŞ

Bu bölümde amaç köşeleri pekiştirilmiş katlanmış plağın (M) eğilme momentinden hareketle kesitteki en büyük beton basınç gerilmesi ile demir çekme ve basınç gerilmelerinin bulunmasıdır. Bu amaçla önce bir genel çözüm yapılacaktır ve sonra elde edilen bağıntılardan özel çözümlere geçilecektir. Katlanmış Plak kesitleri eğilme momenti ne göre hesaplama bakımından bir kaç türe ayrılabilir. (Şek. 2.1)



(Şekil 2.1)

A ve B türleri basit katlanmış plaklar, C ve D türleri karma katlanmış plaklar, E ve F türleri köşeleri pekiştirilmiş katlanmış plaklar olarak adlandırılırlar.

Hesabımızı, levhanın (d) genişliğinin (l) uzunluğuna küçük oranlarında ($d/l < 0.3$) olduğu kabulü ile kiriş olarak yapacağız. Nitekim kiriş eğilmeleri bu oranları için iyi bir yaklaşımla bulunabilir. Şunu da hemen belirtmemiz gerekir ki ($d/l > 0.3$) oranlarında kesit büyüklükleri hesabı için Plak Teorisi kullanılmak zorundadır.

2.2 BASINÇ DONATISI BULUNMASI DURUMU

Takip edilecek hesaplarda, katlanmış plağın kalınlığı t , köşe pekiştirmesi yüksekliği a , plağın yatayla yaptığı açı α , bir noktaya toplanmış olduğu düşünülen çekme donatısı alanı A_s , basınç donatısı alanı A'_s , kesit faydalı yüksekliği h , basınç donatısı ortalama pas payı h' , beton basınç bölgesi yüksekliği x , en büyük beton basınç gerilmesi σ_c , çekme donatısı gerilmesi σ_s , basınç donatısı gerilmesi σ'_s , beton basınç gerilmeleri bileşkesi D_b , bu bileşkenin

$$S_2 = \int_x^{x-e} u \cdot \frac{2(x-u)}{tg\alpha} \cdot du = \frac{e^2}{3tg\alpha} (3x-2e)$$

olarak hesaplanan değerleri yerlerine konulursa

$$\frac{b_0}{2} (x-e)^2 + \frac{e^2}{3tg\alpha} (3x-2e) + n(x-d')A'_s = n(d-x)A_s \quad (8)$$

bulunur. (8) bağıntısı açılıp gerekli kısaltmalar yapılırsa

$$x^2 \left(\frac{b_0}{2} \right) + x \left(\frac{e^2}{tg\alpha} - b_0 \cdot e + nA'_s + nA_s \right) + \left(\frac{b_0 \cdot e^2}{2} - \frac{2e^3}{3tg\alpha} - n d' A'_s - n d A_s \right) = 0 \quad (9)$$

denklemleri ve bu denklem çözülerek tarafsız eksen bağıntısı

$$x_{t2} = \frac{1}{b_0} \left[\left(b_0 \cdot e - \frac{e^2}{tg\alpha} - nA'_s - nA_s \right) \pm \sqrt{\left(b_0 \cdot e - \frac{e^2}{tg\alpha} - nA'_s - nA_s \right)^2 - 2b_0 \left(\frac{b_0 \cdot e^2}{2} - \frac{2e^3}{3tg\alpha} - n d' A'_s - n d A_s \right)} \right] \quad (10)$$

elde edilir. (10) bağıntısı ile hesaplanan x lerden pozitif olanı alınacaktır. Tarafsız eksene göre kesitin atalet momenti

$$I_i = \int_0^{x-e} u^2 b_0 \cdot du + \int_{x-e}^x u^2 \frac{2(x-u)}{tg\alpha} du + n(x-d')^2 A'_s + n(d-x)^2 A_s \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntıdaki integrallerin

$$I_1 = \int_0^{x-e} u^2 b_0 \cdot du = \frac{b_0}{3} (x-e)^3 \quad (12)$$

$$I_2 = \int_{x-e}^x u^2 \frac{2(x-u)}{tg\alpha} du = \frac{e^2}{6tg\alpha} (6x^2 - 8e \cdot x + 3e^2) \quad (13)$$

olarak hesaplanan değerleri yerlerine konulursa atalet momenti için

$$I_i = \frac{b_0}{3} (x-e)^3 + \frac{e^2}{6tg\alpha} (6x^2 - 8e \cdot x + 3e^2) + (x-d')^2 nA'_s + n(d-x)^2 A_s \quad (14)$$

(10) ve (14) bağıntılarından yararlanılarak en büyük beton gerilmesi

$$\sigma_b = \frac{M}{I_i} \cdot x \quad (15)$$

basing donatısındaki gerilme

$$\sigma_e' = n \cdot \frac{M}{I_e} (x - d') \quad (16)$$

ve çekm. donatısındaki gerilme

$$\sigma_e = n \cdot \frac{M}{I_e} (d - x) \quad (17)$$

olarak hesaplanır.

2.3 BASINÇ DONATISI BULUNMAMASI DURUMU

Bu çözümlerden basınç donatısı bulunmaması durumu $A'_s = 0$ alınarak çözüme gidilebilir.

2.4 PEKİŞTİRİLMEMİŞ KESİT İÇİN

Pekleştirilmemiş kesit için $b_o = 0$ alınarak çözüme geçilebilir.

3. YITZHAKI METODU

3.1 GİRİŞ

Bu bölümde katlanmış plaklar için tek boyutlu, basitleştirilmiş bir analiz sunulmuştur.

Bir açık silindir ile bir seri ince plağı karşılaştırırsak iki sistemin hemen hemen aynı gerilmelere haiz olduğunu ve plaklar darlaştıkça limit olarak silindirik kabuğa yaklaştığını görürüz. Gerçekten Prof. Yitzhaki silindirik kabukları analiz etmek için katlanmış plak yaklaşımına dayanan bir metod geliştirmiştir.

Bu bölüm yalnızca analizi ele almaktadır.

3.2 TANIMLAR VE KABULLER

Büyük açıklıklı çatı ve döşeme sistemleri toplam derinliklerinden çok daha büyük boylamsal açıklıklara haiz plaklardan meydana geldiği için şu basitleştirmeler yapılır:

(1) Eğilme teorisine dayanan tek boyutlu bir analiz kullanılır.

(2) Plaklar uzun ve dar olduklarından, esas olarak yalnız boylamsal kenarları boyunca bağlı olarak ele alınabilir. Mesnetlendirici tempan duvarlarında ki bağ tesiri esas analizden ayrı olarak ele alınır.

Bu iki basitleştirme açıklığın, plak derinliğinin en az üç katı hali için geçerlidir.

Böylece analiz plakların iki ayrı şekilde çalıştığını kabul ederek yapılır.

(1) Enlemsel olarak plak, (2) Boylamsal olarak kiriş. Yalnız boylamsal kenarlarda bağ kabulünden dolayı, plaklar ayrıtlar arasını enlemsel olarak örten tek doğrulduda çalışan plaklar gibi ele alınabilir. Basit eğilme teorisinin geçerliğini kabuldan dolayı ise plaklar ince yatık kirişler gibi ele alınabilir. Bundan dolayı bu analize PLAK-KİRİŞ ANALİZİ denmektedir.

Bu basitleştirme de yapılan kabuller:

(1) Malzeme lineer elastik, izotrop ve homojendir.

(2) Bütün plaklardaki tüm yüklerin boylamsal yayılımı aynıdır.

(3) Plaklar yükleri enlemsel olarak yalnız düzlemlerine dik eğilme ile taşırlar (tek doğrultuda çalışan plak tesiri)

(4) Plaklar yükleriboylamsal olarak yalnız kendi düzlemleri içinde eğilmeile taşırlar (boylamsal kiriş çalışımı)

(5) Boylamsal şekil değiştirme oranlarıve dolayısıyla gerilmeler her plağın derinliği boyunca lineer olarak değişirler.

(6) Mesnetlendirici elemanlar (tempan duvarları, çerçeveler, kirişler....) kendi düzlemlerinde sonsuz rijit ve düzlemlerine dik olarak da tamamen fleksibildirler.

(7) Plakların kendi düzlemlerine dik burulma rijitlikleri yoktur.

(8) Eğilme momentlerinden başka kuvvetlerden meydana gelen yer değiştirmeler ihmal edilirler.

(9) Katlanmış plak prizmatiktir, yani kesit açıklık boyunca sabittir.

(10) Ayrı bir kısıtlama olarak, süper pozisyon kabulünü geçersiz kılacak yanıl sapmalardan kaçınmak üzere komşu plakların arasındanki açının 15 dereceden büyük ve 165 dereceden küçük olması tavsiye edilmiştir.

Plak- Kiriş Analizi için Yitzhaki yöntemi iki ayrı analizden ibarettir:

(1) Yüklerin ayrıtlara sadece tek doğrultuda çalışan plak eğilmesi ile taşındığının kabul edildiği ENLEMSSEL BASİT PLAK ANALİZİ: iç ayrıtlar boyunca çökme olmadığı kabul edilir. Analiz, ayrıtlardaki enlemsel eğilme momentlerini ve yüklerle aynı boylamsal yayılı şa haiz düşey aksitesirleri verir. Bu halde boylamsal kiriş gerilmeleri meydana gelmez.

(2) Enlemsel basit plak analizinden bulunan reaksiyonların birleşik plak-kiriş sistemine yük olarak tatbik edildiği AYRIT YÜKLERİ İÇİN PLAK-KİRİŞ ANALİZİ: Ayrıtların neticesi olarak, boylamsal kiriş gerilmeleri ve enlemsel eğilme momentleri meydana gelir. Bulunan eğilme momentlerinin tek doğrultuda çalışan basit plak analizindekilerle birleştirilmesi gerekir.

Şekil 3.1 bir katlanmış plak kesitinin tipik elemanlarını tanımlamaktadır.

3.3.3 DÜZELTME KUVVETLERİ

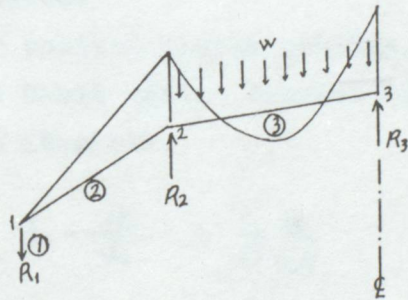
$M_1 \dots M_n$ birim enlemsel eğilme momenti takımları ayrı ayrı her iç ayırıtın tüm uzunluğu boyunca tatbik edilir. Her moment takımı tek doğrultuda çalışan plaklarda enlemsel momentler, ayırıklarda ise düşey aksitesirler ve D^S plak dönmelerini meydana getirir. Her ayırıt aksitesir takımı için bir yeni alt analiz yapılır ve uygun kiriş gerilmeleri, kiriş sapmaları ve son olarak D^B kiriş dönmeleri elde edilir. Örneğin ayırıt 2'deki düzeltme momentleri takımı M_2 için ayırıt 1'deki toplam düzeltme

$$D_{12}^S + D_{12}^B = D_{12}$$

3.3.4 UYGUNLUK

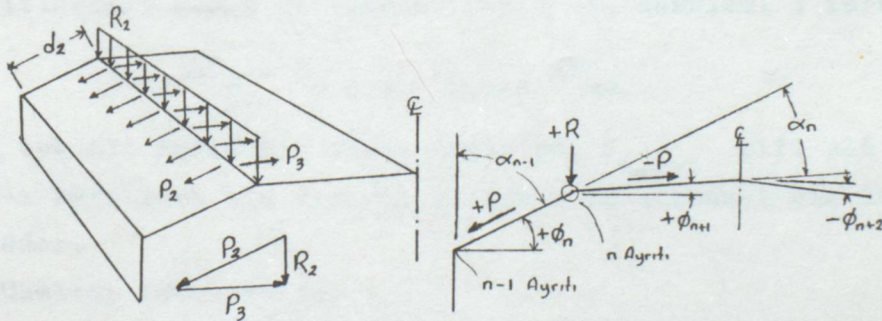
Her serbest bırakılan ayırıtta sürekliliği ifade eden simultane denklemler formüle edilirse $M_1 \dots M_n$ için çözülür.

Şimdi bu analizin genel denklemlerini çıkaracağız. Basit olarak analiz (Şekil 3.2) 'de özetlenmiştir.



(Şekil 3.2)

Meydana gelen aksitesirler (Şekil 3.2), şimdi plak kiriş sistemine (Şekil 3.3) tatbik edilir.



(Şekil 3.3)

ESAS SİSTEM. R_n kavşak yükleri

$$P_n = R_{n-1} \cdot \frac{\cos \phi_{n-1}}{\sin \alpha_{n-1}} + R_n \frac{\cos \phi_n}{\sin \alpha_n} \quad (1)$$

geometrik bağıntıları ile P_n plak yüklerine ayrılırlar. Buradaki n ayrıtı, n ve $n+1$ plaklarının ayrıtıdır. α_n açısı n plağının yataya göre eğimini ifade eder. Ayrıt yükleri aşağı doğru, plak yükleri ise sağdan sola doğru pozitiftir. ϕ_n açısı sol ayrıtta yataydan saat doğrultusunun aksine ölçülür. α_n açısı n plağının devamından $n+1$ plağın saat doğrultusunda ölçülür. (Şekil 3.3)

Plak yüklerinin boylamsal değişimleri kavşak yükleri ile, dolayısıyla dış yükleme ile aynıdır. Yani

$$(R_n)_x \sim (P_n)_x = F(x) \quad (a)$$

Eşit yükleme hali için bu bir sabittir.

İlk alt analiz dış yüklemeden meydana gelen buplakyükleri için yapılır.

(1) Esas Sistem:

Çekmeler pozitif olacak şekilde, boylamsal gerilmelerin plak yüklerinden basit eğilme teorisi^{de} (Şekil 3.4.a) elde edildiği basit kirişlerden ibarettir.

$$\xi_n = \frac{M_n}{W_n} = \pm \frac{C_s \cdot P_n}{d_n^2 \cdot t_n / 6} \quad (2)$$

Burada C_s açıklık ve yüke bağlı bir sabittir. Eşit yayılı yük için $C_s = L^2/8$, sinüs yayılışı için $C_s = L^2/\pi$, açıklık ortasında tekil bir yük için ise $C_s = L/4$ tür.

(2) Hatalar:

Ayrıtlardaki kiriş gerilmelerinin ((2) denklemi) farkıdır.

$$\Delta f_n = f_{n,n-1} - f_{n,n+1} = D_{no} \quad (3)$$

Burada tek alt endis bir ayrıt değerine, $f_{n,n-1}$ çift alt endis ise n ve $n-1$ ayrıtları ile sınırlı plağın n ayrıtındaki bir değere fe-kabül eder.

(3) Düzeltme Kuvvetleri:

Dış merkez tekil çekme veya basınç kuvvetleri olarak düşünülebi-len N_n (Şekil 3.4.b) boylamsal kayma kuvvetleridir. Kirişin herhangi

bir noktasında gerilmeler meydana getiren bu kuvvetler kayma gerilmelerinin o noktaya kadar olan toplamını ifade eder

$$(N_n)_x = \int_0^x V_{n,n-1} \cdot t_n \cdot dx \quad (4)$$

n ayırıtında kayma gerilmelerine maruz bir plağın (Şekil 3.4) serbest bir kısmını ele alalım. Açıklıktaki herhangi bir x noktasında (4) ile verilen toplam kayma kuvveti, d_n derinliği ve t_n sabit kalınlığı ile gösterilen kesitte dış merkezli bir yük gibi etkir. N_n dan dolayı n plağındaki kiriş gerilmeleri herhangi bir x için

$$f_{n,n-1} = \frac{N_n}{t_n \cdot d_n} + \frac{6N_n \cdot d_n / 2}{t_n \cdot d_n^2} = + \frac{4N_n}{A_n} \quad (5)$$

$$f_{n-1,n} = \frac{N_n}{t_n \cdot d_n} - \frac{6N_n \cdot d_n / 2}{t_n \cdot d_n^2} = - \frac{2N_n}{A_n}$$

olacaktır. N_{n-1} , N_n ve N_{n+1} kuvvetlerinin n ayırıtı üzerindeki etkisini ele alırsak, pozitif N_n , n plağında çekme kuvveti, n+1 plağında ise basınç kuvveti olacak şekilde

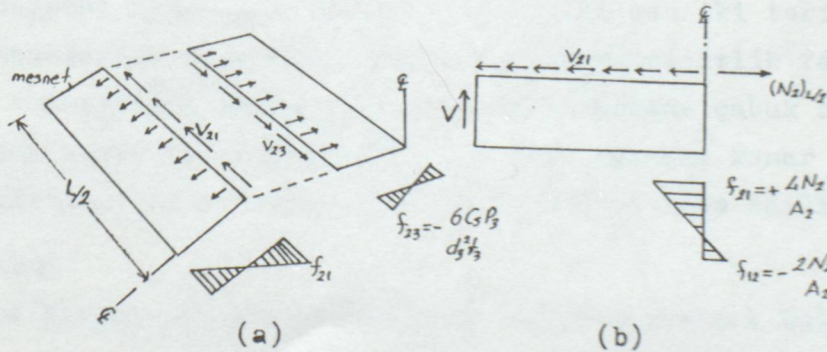
$$f_{n,n-1} = \frac{4N_n}{A_n} + \frac{2N_{n-1}}{A_n}$$

$$f_{n,n+1} = - \frac{4N_n}{A_{n+1}} - \frac{2N_{n+1}}{A_{n+1}} \quad (6)$$

elde ederiz. Böylece toplam düzeltme

$$\Delta f_n = f_{n,n-1} - f_{n,n+1} = \frac{2N_{n-1}}{A_n} + 4N_n \left(\frac{1}{A_n} + \frac{1}{A_{n+1}} \right) + \frac{2N_{n+1}}{A_{n+1}}$$

olur ki burada: $X_1 = N_{n-1} = X_2 = N_n = N_{n+1} = X_3 = 1$



(Şekil 3.4)

$$D_{21} = \frac{2}{A_2} \quad D_{22} = 4\left(\frac{1}{A_2} + \frac{1}{A_3}\right) \quad D_{23} = \frac{2}{A_3} \quad (7)$$

bulunur.

(4) Uygunluk Denklemleri:

(3), (6) ile birleştirilerek elde edilir. Örneğin ayırıt 2 de

$$X_1 D_{21} + X_2 D_{22} + X_3 D_{23} + D_{20} = 0$$

veya herhangi bir n ayırıtında genel terimleri ile

$$N_{n-1} \cdot \frac{2}{A_n} + N_n \left(\frac{4}{A_n} + \frac{4}{A_{n+1}} \right) + N_{n+1} \frac{2}{A_{n+1}} - \frac{M_n}{W_n} - \frac{M_{n+1}}{W_{n+1}} = 0 \quad (8)$$

bulunur. Prizmatik dikdörtken bir kiriş için A_n , A_{n+1} , w_n ve w_{n+1} sabit olduğundan (8) N_n kuvvetlerinin P_n kuvvetlerinin momentleri ile aynı boylamsal yayılışı haiz olduklarını göstermektedir. Eşit yayılı P_n halinde N_n ikinci mertebe bir parabol olarak değişir.

Genel olarak bilinmeyen N_n kuvvetlerinin değerlendirilmesi (8) gibi j adet simültane denkleminin (enlemsel kesitteki iç ayırıt sayısı) çözümünü gerektirir. Aşağıdaki noktalara dikkat ettiğimiz zaman , moment dağılımına benzer bir usulün kolaylıkla tatbik edilebileceğini görürüz :

(a) Bir N_n kuvvetinin her kirişteki gerilmeye tesiri $4/A_n$ ile orantılıdır. Bu terim böylece moment dağılımındaki rijitlik faktörüne benzer.

(b) Bir N_n kuvvetinin n plağında n-1 ayırıtındaki gerilme üzerindeki tesiri $-2/A_n$ veya n ayırıtındaki değerin eksi işaretle yarısıdır. Dolayısıyla $-1/2$ nakil gerilmesi prizmatik elemanlara ait $1/2$ nakil momentine benzer.

(c) Serbest kenar gerilmeleri ((8) deki son iki terim) ankastre uç momentlerine benzerler. Böylece, benzer rijitlik faktörleri ve nakil katsayıları değişmediğinden her analizde çabuk bir gerilme dağıtımı usulü kullanılabilir. Her yeni serbest kenar gerilme takımı dağıtılır ve f_n uygun ayırıt gerilmeleri elde edilir.

HATALAR

Önce kirişlerin kendi düzlemlerindeki sapmaları bulunur.

DÜZELTMELER

$M_n=1$ (Şekil 3.6) düzeltme momentleri D^S plak dönmeleri yaratırlarki bunlar dikdörtken kesitler için kolaylıkla bulunur.

$$D_{n,n}^S = \frac{d_n}{3EI_n^3} + \frac{d_{n+1}}{3EI_{n+1}^3} = \frac{4d_n}{E t_n^3} + \frac{4d_{n+1}}{E t_{n+1}^3}$$

$$D_{n-1,n}^S = \frac{d_n}{6I_n^3 E} = \frac{2d_n}{E t_n^3} \quad (12)$$

$$D_{n+1,n}^S = \frac{2d_{n+1}}{E t_{n+1}^3}$$

Meydana gelen düşey tepkiler

$$R_n = \frac{1}{d_n \cos \phi_n} + \frac{1}{d_{n+1} \cos \phi_{n+1}}$$

$$R_{n-1} = - \frac{1}{d_n \cos \phi_n} \quad (13)$$

$$R_{n+1} = - \frac{1}{d_{n+1} \cos \phi_{n+1}}$$

Bunlar (1) denklemleri ile plak yüklerine çevrilirler ve uygun ayır gerilmeleri vermek üzere yeni bir alt analiz yapılır. Bulunan gerilmeler (9) ile kiriş sapmalarını hesaplamakta kullanılır. Bununla beraber c_s ve c_v sabitlerinin belirtilmesi gerekir. Gerçekte hatalar kirişin elastik eğrisi gibi, örneğin eşit yayılı yük halinde:

$$y = y_n \left(\frac{16X}{5L} - \frac{32X^3}{5L^3} + \frac{16X^4}{5L^4} \right)$$

gibi değişirler. Bu eğrilerin, hatta münferit yük haline ait eğrilerin bile

$$y = y_n \sin \frac{\pi X}{L} \quad (14)$$

sinüs eğrisi ile çok yaklaşıklıkla ifade edilebildiği bilinmektedir. Bu yaklaşımın büyük avantajı bu şekilde değişen yüklerin aynı

değişimli momentler ve sapmalar vermesidir. Böylece düzeltme momentleri, dolayısıyla (13) tepkileri ve husule gelen plakyükleri, (14) ün değişimine haizdirler. Bu şekilde $(P_n)_x = P_n \sin(\pi x/L)$ ve bu plak yüklerinden doğan eğilme momentleride

$$(M_n)_x = M_n \sin \frac{\pi x}{L} = \frac{P_n \cdot L^2}{\pi^2} \sin \frac{\pi x}{L}$$

Buradan (2) denkleminde koymak üzere $c_s = L^2/\pi^2$ bulunur. Kiriş sapmaları ise:

$$(y_n)_x = y_n \sin \frac{\pi x}{L} = \frac{M_n L^2}{\pi^2} \sin \frac{\pi x}{L}$$

olur ve $c_v = \pi^2$ olarak bulunur. Bu değerlerle (10)'dan plak dönmelerini ve serbest bırakılan her ayrıttaki plak dönmeleri

$$D_{nm}^B = D_n - D_{n+1} \quad (15)$$

arasındaki farkını kolayca hesaplayabilir. Burada D_{nm}^B serbest bırakılan n ayrıtında serbest bırakılan m ayrıtına tatbik edilen düzeltme momentlerinden meydana gelen kiriş sapmaları neticesi düzeltme dönmesini ifade etmektedir. Toplam düzeltmeler (12) ve (15)i toplayarak elde edilir.

UYGUNLUK

(11) ve (15) denklemleri bilinmeyen ayrıt momentleri ile birleştirilir ve birçözüm elde edilir. Elemanter analiz ile plak-kiriş analizinin neticeliri, nihai değerler vermek üzere birleştirilir. Analizin önemli neticeleri enlemsel plak donatısını tayin eden boylamsal asal gerilmelerdir. Bu asal gerilmeler f_x boylamsal gerilmelerini v kayma gerilmeleri ile birleştirerek elde edilir. Katlanmış plak sisteminin herhangi bir noktasındaki kayma gerilmelerini elde etmek için önce boylamsal kayma gerilmeleri için genel ifadeler çıkarmak gerekir.

Herhangi bir ayrıttaki bu boylamsal kayma gerilmeleri statik denge ($X=0$) ile doğrudan doğruya boylamsal lif gerilmelerinden bulunabilir.

$$N_n = N_{n-1} - \frac{A_n}{2} (f_{n-1} + f_n) \quad (16)$$

Ayrıtlar arasındaki herhangi bir noktada N_y boylamsal kayma kuvveti

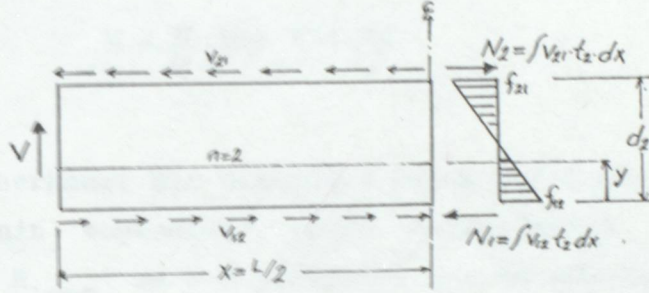
dikdörtken plaklar için

$$N_y = N_{n-1} \cdot \frac{t_n \cdot y}{2} \left(f_{n-1} + f_{n+1} \cdot \frac{d_n - y}{d_n} \right) - \frac{t_n \cdot y}{2} \cdot f_n \cdot \frac{y}{d_n} \quad (17)$$

olur. Bu $y = d_n$ için $N_y = N$ ile (16) yı verir. $y = d_n / 2$ için (17) denklemini

$$N_{d_n/2} = \frac{N_{n-1} + N_n}{2} - \frac{A_n}{8} (f_{n-1} - f_n) \quad (18)$$

verir.



(Şekil 3.7)

kayma gerilmeleri (4) denkleminde direkt olarak

$$v_{n-1} = \frac{1}{t_n} \cdot \frac{dN_n}{dx} \quad (19)$$

şeklinde elde edilebilir. (8) denkleminde N_n kuvvetlerinin plak yüklerinden doğan boylamsal momentler ile aynı boylamsal değişime haiz olduğu neticesi çıkarılmıştı. Böylece eşit yayılı yerçekimi yükleri için

$$M_n = M_{max} \left(\frac{L-x}{L} - \frac{L-x^2}{L^2} \right)$$

ve dolayısıyla

$$N = N_{max} \left(\frac{L-x}{L} - \frac{L-x^2}{L^2} \right)$$

olur ki bu (19) 'a konunca

$$v_n = \frac{L N_{max}}{t_n \cdot L} \left(1 - \frac{2x}{L} \right) \quad (20)$$

verir. Eşit yayılı yük için N_{max} açıklık ortasındaki kuvvettir ve

(17) den elde edilir. Yaklaşık olarak bir sinüs eğrisi gibi yayılmış olan düzeltme yükleri için

$$M_n = M_{max} \sin \frac{\pi x}{L}$$

ve dalasıyla

$$N = N_{max} \sin \frac{\pi x}{L}$$

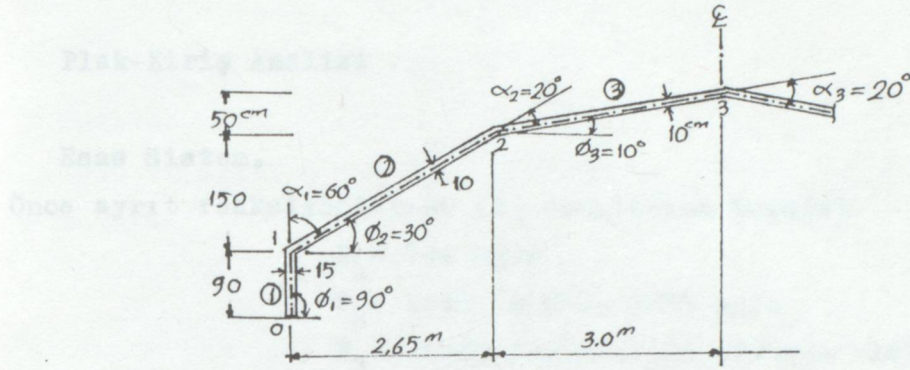
olur ve (19) denklemi

$$v_c = \frac{\pi \cdot N_{max}}{t_n \cdot L} \cos \frac{\pi x}{L} \quad (21)$$

verir.

Böylece herhangi bir noktada v kayma gerilmesi (20) ve (21) denklemlerinin toplamıdır. Proje maksatlarına uygun olarak v'yi yalnız N_{max} 'ın hem yerçekimi hem de düzeltme yüklemelerinden elde edilen toplam değer olduğu (20) ' den hesaplamak olağan usuldür. Düzeltme yüklerinin yüksek kayma gerilmeleri hasıl ettiği hallerde, büyükbaşım önemli hatalar meydana getirebilir.

3.4 SAYISAL ÖRNEK



(Şekil 3.8)

Burada kullanılan örnek (Şekil 3.8) ASCE raporundan alınmıştır. Boylamsal açıklık 21.35 m. dir. Hareketli yük 97 kg/m^2 ; çatı, tecrit ve mekanik yükü 49 kg/m^2 alınmıştır. Bu yüklerin her ikisi de çatının yüzeyi üzerinde eşit yayılı kabul edilmiştir.

Basit Olarak Analiz

0	1	2	3	Ayrıt
1	2	3	Plak	
	1.000	0.428	0.572	0.500
		393	-297	297
0	0	-40	-56	-28
0	0	353	-353	269
0	-134	134	27	-27
334*	594	594	594	594
334	460	728	621	567
794		1349	1134	

* Kenar kirişin ağırlığı w_d 'dir.

Burada tek doğrultuda çalışan dösemeye ait yükleme, moment dağıtımı ve meydana gelen ayırıt reaksiyonları gösterilmiştir.

$$R_1 = 794 \text{ kg/m}$$

$$R_2 = 1349 \text{ kg/m}$$

$$R_3 = 1134 \text{ kg/m}$$

Plak-Kiriş Analizi

Esas Sistem.

Önce ayrıt reaksiyonlarını (1) denklemine koyarak

$$P_1 = 794 \text{ kg/m}$$

$$P_2 = 1349 (2.88) = 3885 \text{ kg/m}$$

$$P_3 = -1349 (2.53) + 1134 (2.88) = -147 \text{ kg/m}$$

plak yüklerini elde ederiz. (2) bağıntısından her kirişteki serbest kenar gerilmeleri

$$f_{01} = -f_{10} = \frac{794 (21.35)^2}{8 \cdot 20702} = 218 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{12} = -f_{21} = \frac{3885 (21.35)^2}{8 \cdot 155000} = 143 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{23} = -f_{32} = \frac{147 (21.35)^2}{8 \cdot 155000} = 5 \text{ kg/cm}^2$$

dir. Gerilme dağıtımı ile yapılan alt analiz aşağıda verilmiştir.

0	1	2	3	Ayrıt		
	1	2	3	Plak		
0	0,69	0,31	0,5	0,5	0	Dağıtım Katsayısı
	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		Geçiş Katsayısı
218	-218	143	-143	-5	5	Serbest Kenar Gerilmesi
	249	-112	69	-69		Dağıtım
-124		-35	56		35	Geçiş
	-24	11	-28	28		Dağıtım
12		14	-10		-14	Geçiş
	10	-4	5	-5		Dağıtım
-5		-2	2		2	Geçiş
	-2	0	-1	1		Dağıtım
101	15	15	-50	-50	28	Sonuç gerilmeler

Gerilmeler kg/cm^2 , Gelme (+), basınç (-)

Esas analiz yüklemesine göre gerilme dağıtımı

Buradan uygun sonuç gerilmeleri

$$\begin{aligned} f_0 &= 101 \text{ kg/cm}^2 \\ f_1 &= 15 \text{ kg/cm}^2 \\ f_2 &= -50 \text{ kg/cm}^2 \\ f_3 &= 28 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hatalar

$C_v = 9.6$ ve $E = 140000 \text{ kg/cm}^2$ alınarak gerilmeler (9) denkleminde yerine konursa

$$y_{10} = 3.03 \text{ cm}$$

$$y_{20} = 0.70 \text{ cm}$$

$$y_{30} = -0.81 \text{ cm}$$

$$y_{40} = 0.81 \text{ cm}$$

buluruz. Bu değerler (10) 'a konulunca

$$D_2 = - \frac{1.153}{305} (3.03) + \frac{3.326}{350} (0.70) = 0.398 \times 10^{-2}$$

$$D_3 = - \frac{2.294}{350} (0.70) + \frac{5.50}{305} (-0.81) = -2.914 \times 10^{-2}$$

elde edilir.

Simetriden dolayı eksen çizgisinin yalnız bir tarafındaki yer değiştirmeleri ele almamız yeterlidir. Böylece ayrıt 2 ve 3' teki dönel hatalar (11) denkleminde sırayla

$$D_{20} = 0.398 \times 10^{-2} - (-2.914 \times 10^{-2}) = 3.312 \times 10^{-2}$$

$$D_{30} = -2.914 \times 10^{-2}$$

Düzeltilmeler

a. Açıklık ortasında 1 kgm/m lik momentler önce ayrıt 2 ve 4 e tatbik edilir. Bu momentler boylamsal olarak sinüs değişimini hazırlarlar ve Şekil 3.6 da görüldüğü gibi lineer enlemsel eğilme momenti eğrileri yaratırlar. (12) bağıntısından enlemsel olarak çalıştıkları gözönüne alınan plaklarda birim düzeltme momentleri ile meydana gelen ayrıt dönmeleri

$$D_{22}^s = 2 \times \frac{4 \times 3.05}{1.4 \times 10^6 \times 10^3} = 1.743 \times 10^{-2}$$

$$D_{32}^s = \frac{2 \times 3.05}{1.4 \times 10^6 \times 10^3} = 0.346 \times 10^{-2}$$

Bu düzeltme momentlerinden meydana gelen ayrıt reaksiyonları (13) denkleminde

$$R_1 = -377 \text{ kg/m}$$

$$R_2 = 711 \text{ kg/m}$$

$$R_3 = -665 \text{ kg/m}$$

olarak bulunur ve bunlar (1) e göre

$$P_1 = -377 \text{ kg/m}$$

$$P_2 = 711 (2.88) = 2048 \text{ kg/m}$$

$$P_3 = -711 (2.53) - 665 (2.88) = -3714 \text{ kg/m}$$

plak yüklerini doğururlar. Her kirişteki serbest kenar gerilmeleri (2) ye göre $C_s = L^2 / \pi^2$ için

$$f_{01} = -f_{10} = - \frac{377 (21.35) 100}{\pi^2 (20702)} = -84 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{12} = -f_{21} = -61 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{23} = -f_{32} = -111 \text{ kg/cm}^2$$

dir. Gerilme dağıtımı aşağıda verilmiştir.

0	1	2	3	Ayrıt		
1	2	3	Plak			
0	0,69	0,31	0,5	0,5	0	Dağıtma Katsayısı
	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5		Geçiş katsayısı
-84	84	61	-61	-111	111	Serbest Kenar Gerilmesi
	-16	7	-25	25		Dağıtım
8		12	-4		-12	Geçiş
	8	-4	2	-2		Dağıtım
-4		-1	-2		-1	Geçiş
	-1		1	-1		Dağıtım
-80	75	75	-89	-89	98	Sonuç Gerilmeler kg/cm ²

Gerilme dağıtımı ile alt analiz

$$f_0 = -80 \text{ kg/m}$$

$$f_2 = -89 \text{ kg/m}$$

$$f_1 = 75 \text{ kg/m}$$

$$f_3 = 98 \text{ kg/m}$$

uygun gerilmelerini verir. $C_v = \pi^2$ için plak sapmaları (9) a göre

$$y_{11} = -5.522 \text{ cm}$$

$$y_{21} = 1.727 \text{ cm}$$

$$y_{31} = -1.968 \text{ cm}$$

olarak bulunur ve bunlar (10) bağıntısına konulunca

$$D_2 = -\frac{1.153}{305}(-5.52) + \frac{3.326}{305}(1.727) = 5.894 \times 10^{-2}$$

$$D_3 = -\frac{2.924}{305}(1.727) + \frac{5.50}{305}(-1.968) = -7.089 \times 10^{-2}$$

verirler.

Meydana gelen ayrıt dönmeleri (15) e göre

$$D_{22}^B = 5.849 \times 10^{-2} - (-7.089 \times 10^{-2}) = 12.938 \times 10^{-2}$$

$$D_{32}^B = -7.089 \times 10^{-2}$$

dir. Böylece toplam ayrıt dönmeleri, (D^S) ve (D^B) toplanarak

$$D_{22} = 12.938 \times 10^{-2} + 1.743 \times 10^{-2} = 14.671 \times 10^{-2}$$

$$D_{32} = -7.089 \times 10^{-2} + 0.436 \times 10^{-2} = -6.653 \times 10^{-2}$$

şeklinde elde edilir.

b. Açıklık ortasında 1 tm/m lik enlemsel momentler şimdi ayrıt 3 e tatbik edilirler. Hesaplarda bir önceki usulün aynısı izlenir.

$$D_{33}^S = \frac{4(3.05)}{1.4 \times 10^6 \times 10^{-3}} = 0.872 \times 10^{-2}$$

$$D_{23}^S = \frac{2(3.05)}{1.4 \times 10^6 \times 10^{-3}} = 0.436 \times 10^{-3}$$

Momentlerden

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = -334 \text{ kg/m}$$

$$R_3 = 665 \text{ kg/m}$$

buradan

$$P_1 = 0$$

$$P_2 = -334(2.88) = -962 \text{ kg/m}$$

$$P_3 = 334(2.53) + 665(2.88) = 2760 \text{ kg/m}$$

bulunur. Serbest kenar gerilmeleri

$$f_{01} = -f_{10} = 0$$

$$f_{12} = -f_{21} = -28 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{23} = -f_{32} = 81 \text{ kg/cm}^2$$

dir ve gerilme dağıtımından

0	1		2		3	Ayrıt
	1	2	3			Plak
0	0,69	0,31	-0,5	0,5	0	Dağıtma katsayısı
	-0,5	-0,5	28	-0,5		Gegiş katsayısı
0	0	-28	26	81	-81	Serbest kenar gerilmesi
	-1	9	5	-27		Dağıtım
10		-13	-		14	Gegiş
	-9	4	-2	2		Dağıtım
4		2	1		-1	Gegiş
	1	-1	55	-1		Dağıtım
14	-27	-27	55	55	-68	Sonuç gerilmeler

$$f_0 = 14 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_1 = -27 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_2 = 55 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_3 = -68 \text{ kg/cm}^2$$

bulunur. Bu gerilmelerden ileri gelen sapmalar

$$y_{12} = 1.598 \text{ cm}$$

$$y_{22} = -0.869 \text{ cm}$$

$$y_{32} = 1.261 \text{ cm}$$

plak dönmeleri

$$D_2 = \frac{1.153}{305} (1.598) + \frac{3.32}{305} (-0.869) = -2.759 \times 10^{-2}$$

$$D_3 = 4.319 \times 10^{-2}$$

dir. Meydana gelen ayrıt dönmeleri

$$D_{33}^B = 4.319 \times 10^{-2}$$

$$D_{23}^B = -2.759 \times 10^{-2} - 4.310 \times 10^{-2} = -7.078 \times 10^{-2}$$

dir ve böylece

$$D_{33} = 4.319 \times 10^{-2} + 0.872 \times 10^{-2} = -5.191 \times 10^{-2}$$

$$D_{23} = -7.078 \times 10^{-2} + 0.436 \times 10^{-2} = -6.642 \times 10^{-2}$$

bulunur. Hesap sırasında kabul edilebilen hata içinde $D_{23} = D_{32}$ olduğunu görüyoruz.

Uygunluk

Mafsal kabul edilen iç ayrıtlarda herhangi bir dönme bulunmamasını sağlamak üzere iki simültane denklem yazılır:

$$X_2 D_{22} + X_3 D_{32} + D_{20} = 0$$

$$X_2 D_{32} + X_3 D_{33} + D_{30} = 0$$

veya

$$X_2 (14.68) + X_3 (-6.65) + 3.31 = 0$$

$$X_2 (-6.65) + X_3 (5.19) - 2.91 = 0$$

ki buradan

$$X_2 = 78 \text{ kgm/m}$$

$$X_3 = 667 \text{ kgm/m}$$

bulunur. Aşağıdaki tablolar sırayla bütün sistemdeki boylamsal gerilmeleri, enlemsel momentleri, boylamsal kayma gerilmelerini vermektedir. Şekil 3.9' da hesaplanan plak momentleri ile levha gerilmelerinin boylamsal değişimi gösterilmiştir. Şekil 3.10' da tipik bir donatı şekli görülmektedir.

Açıklık Ortasında Boylamsal Gerilmeler (kg/cm²)

Ayırıt	0	1	2	3		
Esas Analiz	0	0	0	0	0	
Düzeltilmemiş gerilme	101	15	15	-50	-50	28
Düzeltilmeler						
$X_2=1 \text{ t/m}$	-80	75	75	-89	-89	98
$X_1=0,078$	-6	6	6	-7	-7	8
$X_3=1 \text{ t/m}$	14	-27	27	55	55	-68
$X_3=0,667$	9	-18	-18	37	37	-45
Toplam Düzeltme	3	-12	-12	30	30	-37
Sonuç Değerler	104	3	3	-20	-20	-9

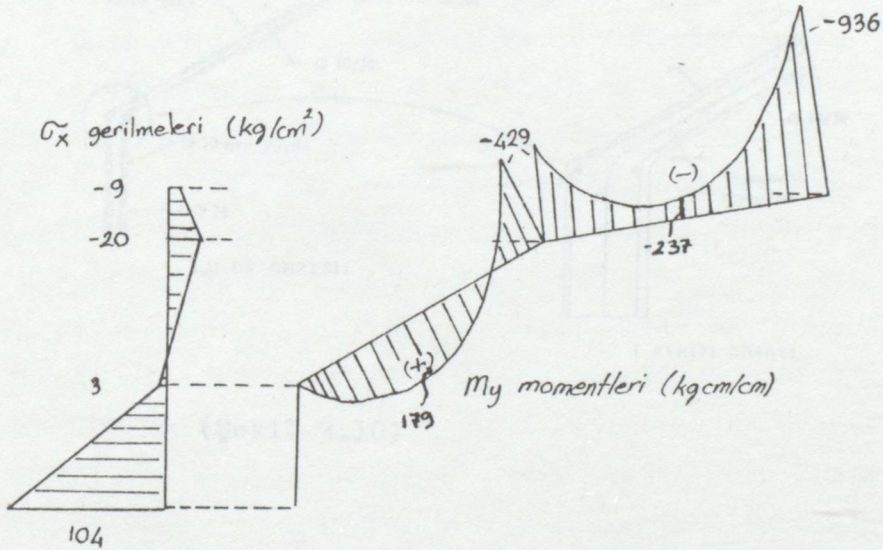
Açıklık Ortasında Enlemsel Eğilme momentleri (kgm/m)

	Ayırıt 1	Plak 2	Ayırıt 2	Plak 3	Ayırıt 3
Esas analiz	0	217	-353	135	-289
Toplam Düzeltme	0	-39	-78	-372	-647
Sonuç değerler	0	178	-429	-227	-936

Açıklık Ortasında Boylamsal Kayma Kuvvetleri ve Kayma Gerilmeleri

Ayrıt Konumu	0	0/a	1	12	2	23	3	
Düzeltilmemiş Kuvvet	0	-178	-263	-264	-107	40	0	
Düzeltilmeler								
$X_2 = 0,078$	0	5	0	-13	4	21	0	
$X_3 = 0,667$	0	-6	22	55	-50	-125	0	
Toplam Düzeltme	0	-1	22	42	-46	104	0	
Sonuç Kayma Kuvveti	0	-179	-241	-222	-153	-64	0	
Düzeltilmemiş Gerilme	0	-6,7	-9,8	-14,7	-14,9	-6,0	2,2	0
Toplam Düzeltme	0	0,1	0,6	1,0	1,8	-2,0	-4,6	0
Sonuç Kayma Gerilmesi	0	-6,6	-9,2	-13,7	-13,1	-8,0	-2,4	0
Sonuç Kayma Gerilmesi Yaklaşık	0	-6,6	-9,0	-13,5	-12,6	-8,6	-3,6	0

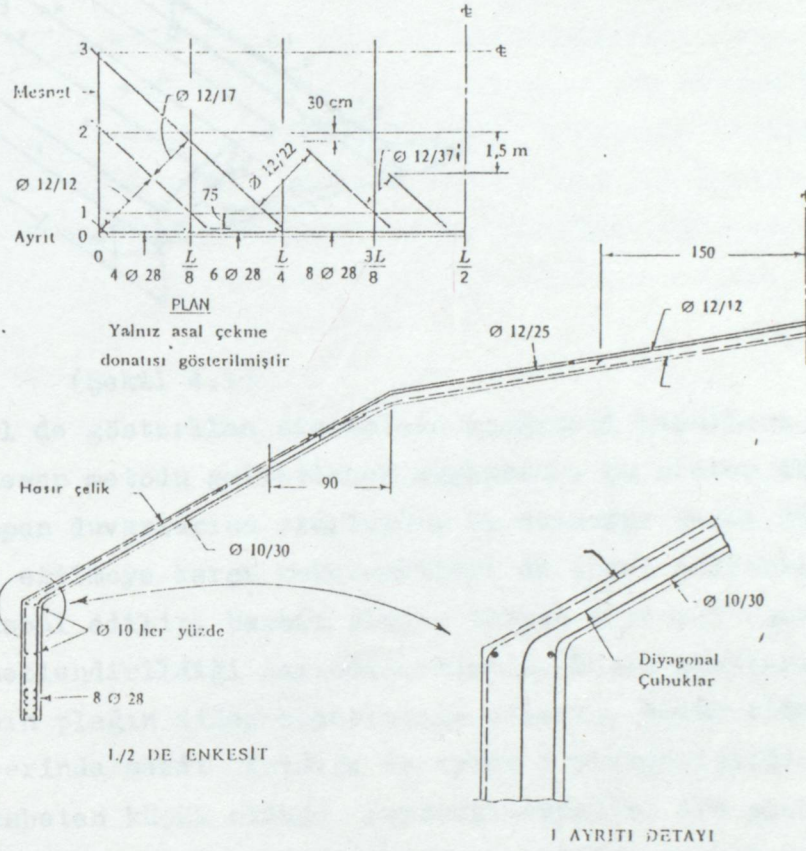
0,1, 0 ile 1 ayrıtlarının tam ortasındaki noktayı gösterir.
Bütün kuvvetler t/m. dir.



(Şekil 3.9)

4. ÇİRKAN KÖPRÜ

4.1. MESAFPA KULLANILAN KAVRILAR



(Şekil 3.10)

açılarak

$$P(x) = \sum_m \bar{P}_m \cdot \sin \frac{m\pi x}{L}, \quad m=1, 3, 5, \dots \quad (1)$$

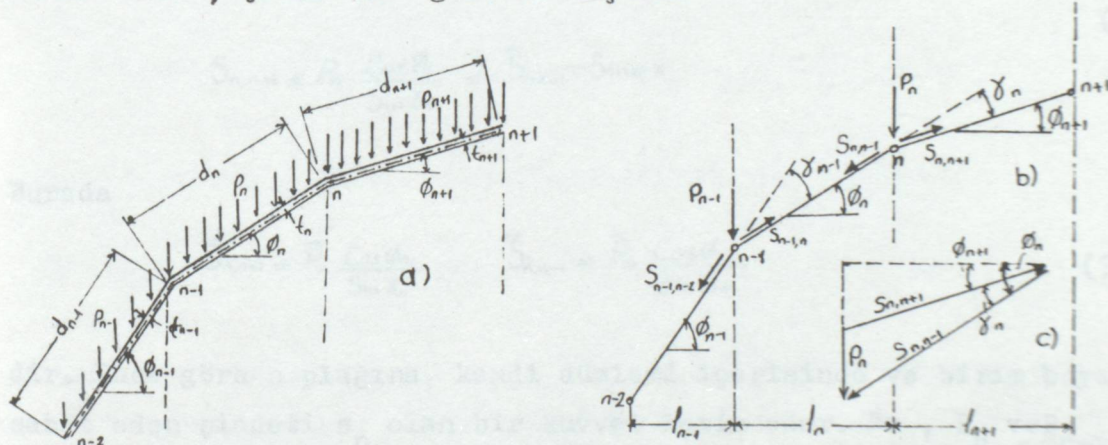
şeklinde gösterilebilir. Araştırmalarımızda önce boyuna doğrultuda sinüs eğrisi şeklinde yayılı bir dik yükünü esas alacağız:

$$P(x) = \bar{P} \sin \alpha x \quad \alpha = \frac{m\pi}{L} \quad (2)$$

Yüksek mertebadan hiparstatik olan bu katlanmış plak sisteminin hesabında bir esas sistem nazari dikkate alınır. Bu sistem DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT olarak verilen sistemden, plakların birbirine boy-lamsalmafsalla bağlı olduğu ve aynı zamanda her iki kenar plağın eğilme ve burulma mukavemetlerinin nazari dikkate alınmadığı kabul edilerek teşkil edilir. Buna MAFSALLI SİSTEM adı verilir.

4. 2. MAFSALLI SİSTEMİN HESABI

Sistemin ayrıtları $0, 1, 2, \dots, n, \dots, r$ ve plakları $1, 2, \dots, n, \dots, r$ şeklinde mumaralayalım (şekil 4.1). Plak genişlikleri, yatayla yaptıkları açılar, v.s , katlanmış plak enkesitinin bir kısmını karakterize eden , Şekil 4.2' gösterilmiştir.



(Şekil 4.2)

Her plağa ait noktaları belirtebilmek maksadıyla, başlangıç nok-tası I tempan duvarı üzerinde bulunan ve x eksenini bu plağın yüksek numaralı ayrıtıyla çakışan, bir xy dik koordinat sistemi tarif edil-mektedir. (Şekil 4.1). Her bir plağa ait ortalama yüzünün birim a-lanına dikolarak:

$$p_1 = \bar{P}_1 \cdot \sin \alpha x, \quad p_2 = \bar{P}_2 \cdot \sin \alpha x \dots \quad (3)$$

yüklerinin tesirettiği kabul edilecektir. (Şekil 4.2.a). Burada α (2) ile belirlidir. d plak genişliğince büyükün, daha evvelki kabullere göre değişmediği kabul ediliyor. Şimdi bu yüzey yükünü ayrıtların birimboyuna isabet eden ayrıt kuvvetleri ile değiştirelim (Şekil 4.2.b).

$$P_1 = P_1 d_1 + \frac{1}{2} P_2 d_2, \quad P_2 = \frac{1}{2} (P_2 d_2 + P_3 d_3); \quad P_3 = \frac{1}{2} (P_3 d_3 + P_4 d_4), \dots \quad (4)$$

Bunlar ise

$$\bar{P}_1 = \bar{P}_1 d_1 + \frac{1}{2} \bar{P}_2 d_2, \quad \bar{P}_2 = \frac{1}{2} (\bar{P}_2 d_2 + \bar{P}_3 d_3), \dots \quad (5)$$

ile aşağıdaki formda yazılabilir:

$$P_1 = \bar{P}_1 \cdot \sin \alpha, \quad P_2 = \bar{P}_2 \cdot \sin \alpha, \quad \text{v.s.} \quad (6)$$

n inci ayrıta tesir eden P_n yükü, buna bitişik olan n ve n+1 plaklarının doğrultularında, iki bileşene ayrılabilir (Şekil 4.2.c)

$$S_{n,n-1} = P_n \cdot \frac{\cos \phi_n}{\sin \gamma_n} = \bar{S}_{n,n-1} \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

$$S_{n,n+1} = P_n \cdot \frac{\cos \phi_n}{\sin \gamma_n} = \bar{S}_{n,n+1} \cdot \sin \alpha$$

Burada

$$\bar{S}_{n,n+1} = \bar{P}_n \frac{\cos \phi_n}{\sin \gamma_n}, \quad \bar{S}_{n,n-1} = \bar{P}_n \frac{\cos \phi_{n+1}}{\sin \gamma_n} \quad (7a)$$

dir. Buna göre n plağına, kendi düzlemi içerisinde ve birim boyuna isabet eden şiddeti s_n olan bir kuvvet tesir eder. Bu, P_n ve P_{n-1} ayrıtlarına gelen $S_{n,n-1}$ ve $S_{n-1,n}$ kuvvetlerinden meydana gelir.

$$s_n = S_{n,n-1} - S_{n-1,n} = P_n \cdot \frac{\cos \phi_{n+1}}{\sin \gamma_n} - P_{n-1} \cdot \frac{\cos \phi_{n-1}}{\sin \gamma_{n-1}} \quad (8)$$

Bu ise

$$\bar{s}_n = \bar{P}_n \frac{\cos \phi_{n+1}}{\sin \gamma_n} - \bar{P}_{n-1} \cdot \frac{\cos \phi_{n-1}}{\sin \gamma_{n-1}} \quad (9)$$

ile

$$s_n = \bar{s}_n \sin \alpha x \quad (10)$$

şeklini alır. s_n yükleri ise plaklarda σ_x , σ_y ve τ_{xy} levha gerilmelerini meydana getirir. Tempan duvarlarının tamamen eğilebilen bir karakterde olduğu fazedildiğine göre, σ_x gerilmeleri $x=0$ ve $x=L$ için sıfır olmalıdır. Buna göre plaklarkonsol kirişolarak çalışır. Herbir plak diğerinden bağımsız şekil değiştirme yapamayacağına göre ayrıt boyunca bir plaktan diğerine kayma kuvvetleri intikal edecektir. Herhangi bir plağın $x = \text{sabit}$ kesitindeki σ_x gerilme bileşeni, bir M_n eğilme momenti ile N_n normal kuvveti meydana getirir. Bu kesitte τ_{xy} kayma gerilmeliri ise Q_n kesme kuvvetlerini hasil eder. d_n plak genişliğinin L boyu yanında küçük olduğu kabul edildiğinden bu plaklar çubuk gibi hesaplanabilir. Buna göre σ_y normal gerilmeleri nazara dikkate alınmaz ve σ_x normal gerilmelerinin ise d_n kesit yüksekliğince, lineer olarak dağıldığı kabul edilir. n plağına n ve $n-1$ ayrıtları vasıtasıyla, komşu plaklardan gelen kayma kuvvetlerinin birim boya isabet eden şiddetleri T_{n-1} ve T_n ise butakdirde şekil 4.3 'de görülen ve n plağına ait bir elemanın denge şartları:

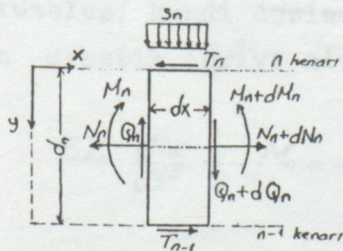
$$dQ_n = -s_n dx, \quad dN_n = (T_n - T_{n-1}) dx, \quad dM_n = Q_n dx - \frac{1}{2} (T_n + T_{n-1}) d_n dx \quad (11)$$

olur. Burada s_n , (8) ile verilmektedir. Bunlar aşağıdaki

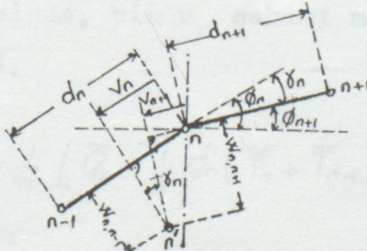
$$Q_n = \bar{Q}_n \cos \alpha x, \quad N_n = \bar{N}_n \sin \alpha x, \quad M_n = \bar{M}_n \sin \alpha x, \quad T_n = \bar{T}_n \cos \alpha x \quad (12)$$

değerlerini sağlamakta olup $\bar{Q}_n$, $\bar{N}_n$, $\bar{M}_n$, $\bar{T}_n$ sabit değerlerdir.

Buna göre, (12) ifadeleri yardımı ile $x=0$ ve $x=L$ de $M_n = N_n = 0$ olup sınır şartları sağlanır.



(Şekil 4.3)



(Şekil 4.4)

(11) ve (12) denklemlerinden

$$\bar{Q}_n = \frac{1}{\alpha} \bar{S}_n, \quad \bar{N}_n = \frac{1}{\alpha} (\bar{T}_n - \bar{T}_{n-1}), \quad \bar{M}_n = \frac{1}{\alpha} \bar{Q}_n - \frac{d_n}{2\alpha} (\bar{T}_n + \bar{T}_{n-1}) \quad (13)$$

elde edilir.

n gibi bir ara ayırıt boyunca bitişik olan n ve n+1 plakları, aynı ϵ_x kenar uzamalarına mağruz kalmalıdır. $\kappa = 0$ ile buradan $\bar{Q}_x$ kenar gerilmelerinin eşitliği ve bilahare

$$\frac{N_n}{d_n t_n} - \frac{6M_n}{d_n^2 t_n} = \frac{N_{n+1}}{d_{n+1} t_{n+1}} + \frac{6M_{n+1}}{d_{n+1}^2 t_{n+1}} \quad (14)$$

bulunur.

(12) ve (13) yardımı ile (14) ' ten

$$\frac{\bar{T}_{n-1}}{F_n} + 2 \bar{T}_n \left(\frac{1}{F_n} + \frac{1}{F_{n+1}} \right) + \frac{\bar{T}_{n+1}}{F_{n+1}} = \frac{3}{\alpha} \left(\frac{\bar{S}_n}{F_n d_n} + \frac{\bar{S}_{n+1}}{F_{n+1} d_{n+1}} \right) \quad (15)$$

hesaplanır. Burada $F_n = d_n \cdot t_n$ ve $F_{n+1} = d_{n+1} \cdot t_{n+1}$ değerleri, n ve n+1 plaklarının enkesit alanıdır. Cidar kalınlığı lineer olarak değişen plaklar için de benzer bağıntılar oluşturulabilir.

Bu suretle mevcut ara ayırıt sayısı kadar (15) d enklemi elde edilir. T_n kayma kuvvetlerinin sayısı da yine ayırıt sayısı kadardır, zira kabüllerimize göre $n=0$ ve $n=r$ ayırıtları serbest olup buralarda kayma kuvvetleri mevcut değildir. Bu durumda T_n kuvvetleri (12) ve (15) denklemlerinden hesaplanabilir. Bunlar bulunduktan sonra (12) ve (13) den her n plağına ait M_n , N_n , Q_n kesit büyüklükleri hesaplanabilir.

Ayırıt noktalarının yer değiştirmeleride kolaylıkla elde edilebilir. Her n plağı, s_n yükleriyle T_{n-1} ve T_n kayma kuvvetlerine maruzolup, kendi düzleminde, bir v_n sehimi meydana getirir .Bu sehim elastik eğriye ait,

$$EI_n \cdot \frac{d^2 v_n}{dx^2} = - M_n = - \frac{1}{\alpha} \left[\bar{Q}_n - \frac{1}{2} d_n (\bar{T}_n + \bar{T}_{n-1}) \right] \cdot \sin \alpha x \quad (16)$$

diferansiyel denklemi ile belirtilebilir. Burada $I_n = \frac{t_n \cdot d^3}{12}$ dir.

$$v_n \text{ için} \quad V_n = \bar{V}_n \sin \alpha x \quad (17)$$

ifadesi seçilecek olursa bu, $x=0$ ve $x=L$ ' de $v=0$ sınır şartlarını sağlar ve (17) den

$$\frac{d^2 \bar{V}_n}{dx^2} = -\bar{V}_n \cdot \alpha^2 \cdot \sin \alpha x \quad (18)$$

ifadesi elde edilir. Aynı şekilde (13) ' den alınan $\bar{Q}_n$ değeri (16) 'da yerine konursa $\sin \alpha x$ ile yapılan kısaltmayı takiben

$$\bar{V}_n = \frac{1}{E \cdot L_n \cdot \alpha^4} \left[\bar{S}_n - (\bar{T}_n + \bar{T}_{n-1}) \cdot \frac{\alpha \cdot d_n}{2} \right] \quad (19)$$

Bu suretle v_n , (17) 'den elde edilir.

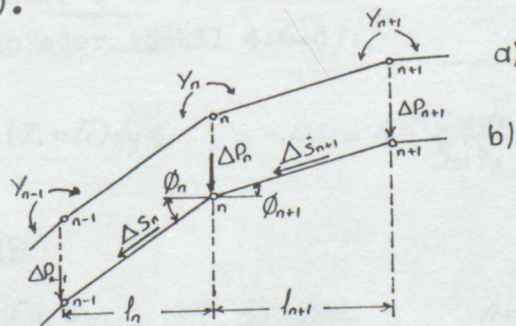
Her n levhasına ait v_n yer değişimleri bu suretle elde edildikten sonra (Şekil 4.4) 'de görülen geometrik bağıntılardan faydalanarak, ayırıt noktalarına ait $w_{n,n-1}$ ve $w_{n,n+1}$ yer değişimleri hesapları:

$$w_{n,n-1} = V_n \cdot \cotg \delta_n - \frac{V_{n+1}}{\sin \delta_n}, \quad w_{n,n+1} = \frac{V_n}{\sin \delta_n} - V_{n+1} \cdot \cotg \delta_n \quad (20)$$

Bu yer değişimleri içeri doğru yönelmiş ise pozitif kabul edilir.

4.3. DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT SİSTEM

Her plak ara ayırıt boyunca bitişikdeki plağa, eğilmeye karşı rijit bir şekilde bağlanmış ise bu takdirde bir plaktan diğerine eğilme momentleri de intikal eder. Bu ayırıt momentleri Y_n ($n=1,2,3..$) ile gösterilmekte olup esas sisteme (Şekil 4.5.a) dış tesir olarak tatbik edilir. Bunlar sistemde Δp_n ayırıt yüklerini meydana getirirler (Şekil 4.5.b).



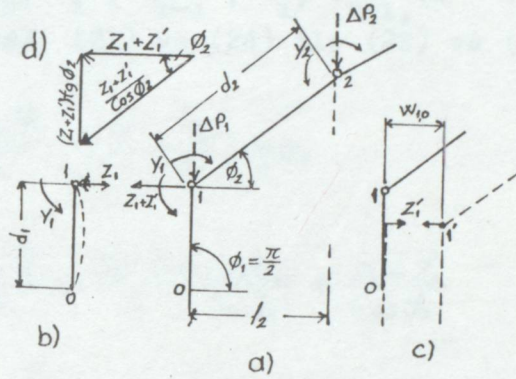
(Şekil 4.5)

Birinci ve sonuncu ara ayrıtlar için (Şekil 4.6.a)

$$\Delta P_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{l_2}, \quad \Delta P_{r-1} = \frac{Y_{r-2} - Y_{r-1}}{l_{r-1}} \quad (21)$$

ve geri kalan ayrıtlar için, şu sonuç yazılabilir:

$$\Delta P_n = \frac{Y_{n-1} - Y_n}{l_n} + \frac{Y_{n+1} - Y_n}{l_{n+1}} \quad (21a)$$



(Şekil 4.6)

Bundan başka, Y_1 ve Y_{r-1} yüklerinden dolayı, uç kenarından mafsallı 1 ve r plaklarına yatay ve 1 ile r-1 ayrıtları boyunca Z_1 ve Z_{r-1} yayılı kuvvetleri tesir eder (Şekil 4.6.b). Ayrıca sistemin deformasyonu esnasında 1 ve r kenar plaklarının üst kenarlarına ait noktalar, plak orta düzlemine dik doğrultuda, $w_{1,0}$ ve w_{r-1} , r yer değişimlerine maruz kalacaklarından bu plaklardan Z_1 ve Z_{r-1} reaksiyonları meydana gelir. (Şekil 4.6.c)

P ayrıt yüklerinin komşu plaklar doğrultusunda bileşenlere ayrılması, (8) 'e göre, P_n levha yüklerini ortaya çıkarır; keza 1,2 ve r-1 ile r plaklarında, Z ve Z' kuvvetlerinin bileşkelerinin de nazarı dik-kate almak icap eder (Şekil 4.6.d):

$$\Delta S_1 = \Delta P_1 - (Z_1 + Z_1') \tan \phi_2, \quad \Delta S_2 = \Delta P_2 \frac{\cos \phi_3}{\sin \phi_2} + \frac{Z_1 + Z_1'}{\cos \phi_2} \quad (22)$$

ara plakları için

$$\Delta S_n = \Delta P_n \frac{\cos \phi_{n+1}}{\sin \phi_n} - \Delta P_{n-1} \frac{\cos \phi_{n-1}}{\sin \phi_{n-1}}, \quad n = 3, 4, \dots, r-2 \quad (23)$$

Sonradan ortaya çıkan Y , Z ve Z' ile bunlardan meydana gelen levha yükleri sinüs eğrisi formunda bir yük dağılımı altında meydana geldiklerinden, aşağıdaki ifadeler teşkil edilebilir:

$$\begin{aligned} Y_n &= \bar{Y}_n \sin \alpha x, & Z_1 &= \bar{Z}_1 \sin \alpha x, & Z_{r-1} &= \bar{Z}_{r-1} \sin \alpha x \\ Z'_1 &= \bar{Z}'_1 \sin \alpha x, & Z'_{r-1} &= \bar{Z}'_{r-1} \sin \alpha x, & \Delta S_n &= \Delta \bar{S}_n \sin \alpha x \end{aligned} \quad (24)$$

Burada $\bar{Y}_n$, $\bar{Z}_1$, $\bar{Z}_{r-1}$, $\bar{Z}'_1$, $\bar{Z}'_{r-1}$ ve $\bar{S}_n$ hesaplanacak değerlerdir. (21a), (21) ve (24) ile (22) ve (23)' den

$$\begin{aligned} \Delta \bar{S}_1 &= \frac{\bar{Y}_2 - \bar{Y}_1}{l_2} - (\bar{Z}_1 + \bar{Z}'_1) \tan \phi_2 \\ \Delta \bar{S}_2 &= \left(\frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{l_2} + \frac{\bar{Y}_3 - \bar{Y}_2}{l_3} \right) \frac{\cos \phi_3}{\sin \phi_2} + \frac{\bar{Z}'_1 + \bar{Z}_1}{\cos \phi_2} \\ \Delta \bar{S}_n &= \left(\frac{\bar{Y}_{n-1} - \bar{Y}_n}{l_n} + \frac{\bar{Y}_{n+1} - \bar{Y}_n}{l_{n+1}} \right) \frac{\cos \phi_{n+1}}{\sin \phi_n} - \left(\frac{\bar{Y}_{n-2} - \bar{Y}_{n-1}}{l_{n-1}} + \frac{\bar{Y}_n - \bar{Y}_{n-1}}{l_n} \right) \frac{\cos \phi_{n-1}}{\sin \phi_{n-1}} \end{aligned} \quad (25)$$

elde edilir. Düğüm noktaları rijit olan sistemde her bir plağa,

$$S_n + \Delta S_n = (\bar{S}_n + \Delta \bar{S}_n) \sin \alpha x; \quad (26)$$

levha yükleri isabet eder. Buna uygun olarak mafsallı sistemdeki T_n kayma kuvvetleri T_n kadar değişir:

$$T_n + \Delta T_n = (\bar{T}_n + \Delta \bar{T}_n) \cos \alpha x \quad (27)$$

ve (19) denklemi yerine, düğüm noktaları rijit sistemde,

$$\bar{V}_n = \frac{1}{EI_n \alpha^4} \left[\bar{S}_n + \Delta \bar{S}_n - (\bar{T}_n + \Delta \bar{T}_n + \bar{T}_{n-1} + \Delta \bar{T}_{n-1}) \frac{\alpha \cdot d_n}{2} \right] \quad (28)$$

bağıntısı ortaya çıkar. $\bar{T}$ değişimleri (15) denkleminde, s yerine Δs koymak suretiyle hesaplanabilir. Bundan sonra (25) denklemini yardımı ile $\Delta \bar{T}_n$ neticelerini $\bar{Y}_n$, $\bar{Z}_1$, $\bar{Z}_{r-1}$, $\bar{Z}'_1$ ve $\bar{Z}'_{r-1}$

bilinmeyenlerinin fonksiyonu olarak ifade edilebilir. $\Delta \bar{T}_n$ için bu şekilde elde edilen ifadeler, mafsallı sistemin $\bar{T}_n$ değerleri (9)'dan elde edilen $\bar{S}_n$ ve (25)'ten bulunan $\Delta \bar{S}_n$ değerleri ile toplu olarak (28) denkleminde gidilecek olursa bu suretle düğüm noktaları rijit olan sistemin $\bar{v}_n$ yer değişimleri $\bar{Y}_n, \bar{Z}_1, \bar{Z}_{r-1}, \bar{Z}'_1, \bar{Z}'_{r-1}$ bilinmeyenleri cinsinden ifade edilir.

$$\bar{v}_n = f_n(\bar{Y}_n, \bar{Z}_1, \bar{Z}_{r-1}, \bar{Z}'_1, \bar{Z}'_{r-1}) \quad (28a)$$

Z ve Z' kuvvetleri, Y momentleriyle v yer değişimleri cinsinden yazılır ve (28) bağıntılarında geriye sadece Y bilinmeyenleri kalır. Böylece Z_1 ve Z_{r-1} kuvvetleri Y_1 ve Y_{r-1} kenar momentleri cinsinden belirtilir, zira

$$Z_1 = Y_1 \cdot f, \quad \bar{Z}_1 = \bar{Y}_1 \cdot f \quad (29)$$

olup, burada

$$f = \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{3Sh^2\alpha d_1 - \alpha^2 d_1^2}{3Sh\alpha d_1 Ch\alpha d_1 + \alpha d_1} \quad (29a)$$

dir. Y_1 kenar momentlerine maruz olan $y=0$ boyunca elastik yüzeydeki kenar dönmesi

$$\left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0, Y} = Y_1 \cdot \chi = Y_1 \cdot \chi \sin \alpha x \quad (30)$$

olup, burada

$$\chi = \frac{1}{2K_1\alpha} \cdot \frac{3Ch^2\alpha d_1 + \alpha^2 d_1^2 + 1}{3Sh\alpha d_1 Ch\alpha d_1 + \alpha d_1} \quad (30a)$$

ve $K_1 = (E \cdot t_1^3)/12$ ise 1 kenar plağının rijitliğini gösterir, r plağının r-1 ayrıtı boyunca meydana gelen dönme ve Z_{r-1} için de benzer bağıntılar yazmak mümkündür.

Şimdi birinci kenar plağına ait $w_{1,0}$ yer değişimlerini (20) yardımı ile ifade etmeye çalışalım. (17) nazarı dikkate alınarak, $n=1$ konulmak suretiyle,

$$w_{1,0} = v_1 \cot g \delta_1 - \frac{v_2}{\sin \delta_1} = \left(\bar{v}_1 \cot g \delta_1 - \frac{\bar{v}_2}{\sin \delta_1} \right) \sin \alpha x \quad (31)$$

elde edilir. iki kenarından serbestçe dönebilecek şekilde mesnetlenmiş ($x=0$ ve $x=L$) bir plakta, sinüs eğrisi şeklinde değişen, bu kenar yer değişimlerini meydana getirmek için,

$$Z' = \left(\bar{v}_1 \cot \delta_1 - \frac{\bar{v}_2}{\sin \delta_1} \right) f_1 \sin \alpha x = \bar{Z}' \sin \alpha x \quad (32)$$

gibi bir kenar yüklemesi yapılır, burada :

$$f_1 = \frac{K_1 \cdot \alpha^3}{2} \frac{9Sh^2 \alpha d_1 - \alpha^2 d_1^2}{3Sh \alpha d_1 Ch \alpha d_1 + \alpha d_1} \quad (32a)$$

Bu kenar yüklemesinden dolayı bir plağın elastik yüzeyinde $\left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0,z}$ gibi bir dönme meydana gelir ki bu da şu denklem vasıtasıyla hesaplanır:

$$f_2 = -\frac{\alpha}{2} \frac{3Sh^2 \alpha d - \alpha^2 d^2}{3Sh \alpha d Ch \alpha d + \alpha d}$$

Bu bağıntıda mevcut f_2 yardımcı büyüklüğü (29) ile yapılan birkarşılaştırmada görülebileceği gibi, $(-f)$ ya eşittir. (31) yardımıyla yukarıdaki denklemden,

$$\left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0,z} = \left(\bar{v}_1 \cot \delta_1 - \frac{\bar{v}_2}{\sin \delta_1} \right) f \sin \alpha x \quad (33)$$

elde edilir. Z'_{r-1} ve r plağın k enar dönmesi için de benzer bağıntılar yazılabilir.

Z ve Z' için bulunan sonuçlar ile (27) ye gidilecek olursa, bu denklem,

$$\bar{v}_n = f_n(\gamma_n) \quad (34)$$

formunu alır. Bu şekilde r sayısı kadar denklem oluşturulur. Bunlar toplu olarak, r sayıda $\bar{v}_n$ bilinmeyenleri ile $r-1$ sayıda $\bar{\gamma}_n$ bilinmeyenlerini ihtiva ederler. Bundan başka $r-1$ adet bağıntı daha bulunmalıdır. Bu bağıntılar, bitişik olan plaklar arasında ki δ açısının deformasyondan

sonra da aynı kalacağı esastından hareket ederek oluşturula bilir. Bu geometrik başıntıları elde edebilmek için esas sistemin bir ayrıtını teşkil eden n ve n+1 sayılı plakların deformasyonunu inceleyelim (şekil7). Plak genişliğince d eğişmediği kabul edilen P_n ve P_{n+1} yüzey kuvvetlerinin tesiri altında, $m_x = m_{xy} = q_x = 0$ basitleştirici kabulleri yardımıylameydana gelen (ubuk teorisine göre hesaplanan) eğilme aılları

$$w_{n,n-1} = \frac{P_n d_n^2 l_n}{24 EI_n'} = \frac{P_n d_n^2 l_n}{2E t_n^3} , \quad w_{n,n+1} = \frac{P_{n+1} d_{n+1}^2 l_{n+1}}{2E t_{n+1}^3} \quad (35)$$

olur. Y ayrıt momenleri ise aşağıdaki eğilme aıllarını meydana getirir :

$$\psi_{n,n-1} = \frac{d_n}{6 EI_n'} (2Y_n + Y_{n-1}) = \frac{2d_n}{E t_n^3} (2Y_n + Y_{n-1}) \quad (36)$$

$$\psi_{n,n+1} = \frac{2d_{n+1}}{E t_{n+1}^3} (2Y_n + Y_{n+1})$$

Ayrıt noktalarının yer değişminden dolayı θ_n ve θ_{n+1} dönme aılları meydana gelir ki bunlar δ_n açısını,

$$\theta_{n+1} - \theta_n = \frac{l}{d_{n+1}} (w_{n+1,n} - w_{n,n+1}) - \frac{l}{d_n} (w_{n,n-1} - w_{n-1,n}) \quad (37)$$

kadar değiştirir (şekil 7). w yerdeğişimleri ise, (20) denklemini yardımıyla, v cinsinden ifade edilebilir ve (17) denklemini ile,

$$\begin{aligned} \theta_{n+1} - \theta_n = & \left\{ \frac{l}{d_{n+1}} \left[\bar{V}_{n+1} (\cot \delta_{n+1} + \cot \delta_n) - \frac{\bar{V}_{n+2}}{\sin \delta_{n+1}} - \frac{\bar{V}_n}{\sin \delta_n} \right] - \right. \\ & \left. - \frac{l}{d_n} \left[\bar{V}_n (\cot \delta_n + \cot \delta_{n-1}) - \frac{\bar{V}_{n+1}}{\sin \delta_n} - \frac{\bar{V}_{n-1}}{\sin \delta_{n-1}} \right] \right\} \sin \alpha x \quad (38) \end{aligned}$$

elde edilir. δ_n açısının değişmezlik şartı, bunlar ile

$$w_{n,n-1} + w_{n,n+1} + \psi_{n,n-1} + \psi_{n,n+1} + \theta_{n+1} - \theta_n = 0 \quad (38)$$

şeklinde yazılır. (35), (36) ve (38) neticeleri kullanılarak (29) ve (33) nazarı dikkate alınır :

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{p}_n d_n^2 l_n}{2 t_n^3} + \frac{\bar{p}_{n+1} d_{n+1}^2 l_{n+1}}{2 t_{n+1}^3} + \frac{2 d_n}{t_n^3} (2 \bar{y}_n + \bar{y}_{n-1}) + \frac{2 d_{n+1}}{t_{n+1}^3} (2 \bar{y}_n + \bar{y}_{n+1}) + \\ & + \frac{E}{d_{n+1}} \left[\bar{v}_{n+1} (\cot \delta_{n+1} + \cot \delta_n) - \frac{\bar{v}_{n+1}}{\sin \delta_{n+1}} - \frac{\bar{v}_n}{\sin \delta_n} \right] - \frac{E}{d_n} \left[\bar{v}_n (\cot \delta_n + \right. \\ & \left. + \cot \delta_{n-1}) - \frac{\bar{v}_{n+1}}{\sin \delta_n} - \frac{\bar{v}_{n-1}}{\sin \delta_{n-1}} \right] = 0 \end{aligned} \quad (39)$$

bulunur. Bu, $n=2, 3 \dots r-2$ ayrıtları için geçerlidir.

1 ve $r-1$ ayrıtları için benzer bağıntılar oluştururken daha kalın olan kenar plaklarının deformasyonu nazarı itibare alınmalıdır. Buna göre (38) denklemi, 1 ayrıtı için (Şekil 9),

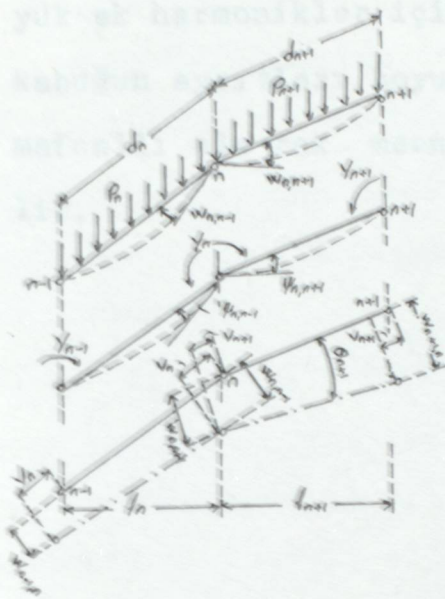
$$w_{1,2} + \psi_{1,2} + \theta_2 + \left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \quad (40)$$

şeklini alır, burada

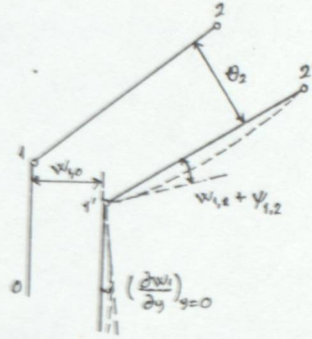
$$\begin{aligned} w_{1,2} &= \frac{\bar{p}_2 d_2^2 l_2}{2 E t_2^3}, \quad \psi_{1,2} = \frac{2 d_2}{E t_2^3} (2 Y_1 + Y_2) \\ \theta_2 &= \frac{1}{d_2} \left[v_2 (\cot \delta_2 + \cot \delta_1) - \frac{v_1}{\sin \delta_1} - \frac{v_3}{\sin \delta_2} \right] \end{aligned} \quad (41)$$

olup $\left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0}$ ise 1 plağına ait elastik yüzeyin, 1 ayrıtı boyunca, kenar dönmesidir. Y_1 momentleri ile Z_1 kuvvetleri bunu aşağıdaki şekilde meydana getirirler:

$$\left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0} = \left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0, y} + \left(\frac{\partial w_1}{\partial y} \right)_{y=0, z} \quad (42)$$



(Şekil 7)



(Şekil 8)

(41) ve (42) neticeleri ile (29) ve (32) nazarı dikkate alınarak, (40) denkleminde

$$\frac{\bar{P}_2 d_z^2}{2 \zeta^3} + \frac{2 d_z}{\zeta^3} (2 \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2) + \frac{E}{d_z} \left[\bar{Y}_2 (\cot \theta_2 + \cot \theta_1) - \frac{\bar{V}_1}{\sin \theta_1} - \frac{\bar{V}_2}{\sin \theta_2} \right] -$$

$$- E \left(\bar{V}_1 \cot \theta_1 - \frac{\bar{V}_2}{\sin \theta_1} \right) \theta + \bar{Y}_1 \cdot E \cdot x = 0 \quad (43)$$

elde edilir. r-1 ayrıtı için de buna benzer bir bağıntı yazılacaktır. (33) den hesaplanan $\bar{V}_n$ yer değişimleri, (39) ve (43) ayrıtı denklemlerinde yerlerine konulacak olursa bunlardan, bilinmeyen $\bar{Y}_n$ momentlerini hesaplamak ve bilahare bulunan değerler yardımı ile bütün kesit büyüklüklerini elde etmek mümkündür.

(1) seri açılımına uygun bir tarzda $n=1, 3, 5, \dots$ için hesap tekrarlanarak buluna n neticeler toplanır. (28) ifadesinden de görülebileceği gibi w yer değişimleri, n nin büyüyen değerleri için çok çabuk sönümlüdür. Bunun göre

4.4 SAYISAL ÖRNEK

$L=21.35^m$ boyunda, betonarmeden yapılmış bir katlanmış plak, Şek.3.8'de görülen simetrik enkesite sahip olup $x = \frac{L}{2}$ açıklık ortasında, verilen plak yükleri altında, enlemsel momentler ve boylamsal gerilmeler hesaplanacaktır.

Bu yükleme için

$$P(x) = \frac{4P}{\pi} \sum_{m=1,3,5} \frac{1}{m} \sin \alpha_m x \quad \alpha_m = \frac{m\pi}{L} \quad (a)$$

seri açılımı kullanılmıştır.

Herbir Flağın Boytları:

$$d_1 = 90\text{cm}, t_1 = 15\text{cm}, F_1 = 1350\text{cm}^2, W_1 = 20250\text{cm}^3, I_1 = 911250\text{cm}^4$$

$$d_{2,3} = 305\text{cm}, t_{2,3} = 10\text{cm}, F_{2,3} = 3050\text{cm}^2, W_{2,3} = 155041\text{cm}^3, I_{2,3} = 23643854\text{cm}^4$$

Flakların Eğim Açıları:

$$\phi_1 = 90^\circ, \phi_2 = 30^\circ, \phi_3 = 10^\circ, \phi_4 = -\phi_3, \delta_1 = 60^\circ, \delta_2 = \delta_3 = 20^\circ$$

Beton Birim Hacim Ağırlığı: 2.4t/m^3

$$E = 140000\text{kg/cm}^2$$

Flak Yükleri

$$1 \text{ plağı Kendi Ağırlığı} : 0.15 \times 2.4 = 0.36\text{t/m}^2 = 0.036\text{kg/cm}^2$$

$$2,3 \sim \text{Beton Ağırlığı} : 0.10 \times 2.4 = 0.24\text{t/m}^2$$

$$\text{Tecrit+Mekanik Yük} : = 0.049\text{t/m}^2$$

$$\text{Hareketli Yük} : = 0.097\text{t/m}^2$$

$$\frac{0.36\text{t/m}^2 + 0.24\text{t/m}^2 + 0.049\text{t/m}^2 + 0.097\text{t/m}^2}{4} = 0.0386\text{kg/cm}^2$$

Ayrıt Yükleri : (4) eşitliğinden

$$P = P = 0.0386 \times 305 = 12\text{kg/cm}$$

$$P = 90 \times 0.036 + 0.5 \times 12 = 9.24\text{ kg/cm}$$

1. $m=1$ için kısmi hesap

$$\alpha = \frac{\pi}{L} = 0.0015 ; \quad \alpha d_1 = 0.1324$$

(29a), (30a) ve (32a) denklemlerinden,

$$\beta = 4.8717 \cdot 10^{-5}, \quad \chi = 6.5733 \cdot 10^{-5}, \quad \beta_1 = 1.6578 \cdot 10^{-2}$$

yardımcı büyüklükleri hesaplanır. (a) seri açılımı nazari dikkate alınmak suretiyle $m=1$ için aşağıdaki yük tesirleri hesaplanır.

$$\bar{P}_1 = \frac{4}{\pi} P_1 = 11.7647 \text{ kg/cm}$$

$$\bar{P}_2 = \bar{P}_3 = \frac{4}{\pi} P_2 = 15.2789 \text{ kg/cm}$$

$$\bar{P}_2 = \bar{P}_3 = \frac{4}{\pi} 0.0386 = 0.04915 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{s}_1 = \bar{P}_1 = 11.7647 \text{ kg/cm}$$

$$s_2 = \bar{P}_2 \frac{\cos \phi_2}{\sin \gamma_2} = 43.994 \text{ kg/cm}$$

$$s = P_3 \frac{\cos \phi_3}{\sin \gamma_3} - P_2 \frac{\cos \phi_2}{\sin \gamma_2} = 5.3063 \text{ kg/cm}$$

$T=0$ (serbest kenar) ve $T=0$ (simetri düzlemi) olduğuna dikkat edilecek olursa (15) denklemi

$$2\bar{T}_1 \left(\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \right) + \frac{\bar{T}_2}{F_2} = \frac{3}{\alpha} \left(\frac{\bar{s}_1}{F_1 d_1} + \frac{\bar{s}_2}{F_2 d_2} \right)$$

$$\frac{\bar{T}_1}{F_2} + 2 \cdot \bar{T}_2 \left(\frac{1}{F_2} + \frac{1}{F_3} \right) = \frac{3}{\alpha} \left(\frac{\bar{s}_2}{F_2 d_2} + \frac{\bar{s}_3}{F_3 d_3} \right)$$

şeklini alır. Hesaplanmış olan α , F ve d değerlerini gözönüne almak suretiyle,

$$\bar{T}_1 = 8.00919\bar{s}_1 + 0.78456\bar{s}_2 - 0.26152\bar{s}_3,$$

$$\bar{T}_2 = -2.0023\bar{s}_1 + 1.44320\bar{s}_2 + 1.70472\bar{s}_3$$

(b)

$\bar{s}_1$, $\bar{s}_2$, $\bar{s}_3$ için daha önce elde edilmiş olan sayısal değerler yerlerine konacak olursa,

$$\bar{T}_1 = 127.3540 \text{ kg/cm} \quad \bar{T}_2 = 48.9814 \text{ kg/cm}$$

Δs 'yi hesaplamak maksadıyla, (32)' den

$$\bar{z}_1 = 0.0096\bar{v}_1 - 0.0191\bar{v}_2$$

ve bununla

$$\bar{z}_1' \cdot \tan \phi_2 = 0.0055\bar{v}_1 - 0.00110\bar{v}_2$$

$$\frac{\bar{z}_1'}{\cos \phi_2} = 0.0110\bar{v}_1 - 0.0221\bar{v}_2$$

hesaplanır. Bu sonuçlar yardımıyla (29) kullanılarak, (25) denkleminde,

$$\Delta \bar{s}_1 = (-0.3802\bar{Y}_1 + 0.3774\bar{Y}_2 - 0.55\bar{v}_1 + 1.10\bar{v}_2) \cdot 10^{-2}$$

$$\Delta \bar{s}_2 = (1.0922\bar{Y}_1 - 2.0464\bar{Y}_2 + 0.96\bar{Y}_3 + 1.10\bar{v}_1 - 2.21\bar{v}_2) \cdot 10^{-2} \quad (c)$$

$$\Delta \bar{s}_3 = (-0.9555\bar{Y}_1 + 3.7191\bar{Y}_2 - 2.7636\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2}$$

elde edilir. (b) denklemindeki $\bar{s}$ yerine yukarıda bulunan bu $\Delta\bar{s}$ değerlerini koyacak olursak, buna tekabül eden ΔT değerleri

$$\begin{aligned}\Delta\bar{T}_1 &= (-1.9383\bar{Y}_1 + 0.4445\bar{Y}_2 + 1.4579\bar{Y}_3 - 3.542\bar{v}_1 + 7.076\bar{v}_2) \cdot 10^{-2} \\ \Delta\bar{T}_2 &= (0.7087\bar{Y}_1 + 2.631\bar{Y}_2 - 3.3257\bar{Y}_3 + 2.6888\bar{v}_1 - 5.392\bar{v}_2) \cdot 10^{-2}\end{aligned}\quad (d)$$

$\alpha, I, \bar{s}, \Delta\bar{s}, \bar{T}$ ve $\Delta\bar{T}$ için hesaplanan bu değerlerle (28) ve (34) :

$$\begin{aligned}1.0048\bar{v}_1 - 0.0096\bar{v}_2 &= (490.5648 - 0.3861\bar{Y}_1 + 0.5379\bar{Y}_2 - 0.1543\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2} \\ -0.0008\bar{v}_1 + 1.0016\bar{v}_2 &= (21.8246 + 0.082\bar{Y}_1 - 0.1641\bar{Y}_2 + 0.0825\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2} \\ 0.0004\bar{v}_1 + 0.0007\bar{v}_2 + \bar{v}_3 &= (-35.1972 - 0.0667\bar{Y}_1 + 0.1860\bar{Y}_2 - 0.1195\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2}\end{aligned}$$

şeklini alır. Bunları v yer değiştirmelerine göre çözersek,

$$\begin{aligned}\bar{v}_1 &= 4.8843 + (-0.3835\bar{Y}_1 + 0.5338\bar{Y}_2 - 0.1528\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2} \\ \bar{v}_2 &= 0.2218 + (0.0816\bar{Y}_1 - 0.1634\bar{Y}_2 + 0.0822\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2} \\ \bar{v}_3 &= -0.3541 + (-0.0665\bar{Y}_1 + 0.1857\bar{Y}_2 - 0.1194\bar{Y}_3) \cdot 10^{-2}\end{aligned}\quad (e)$$

elde edilir. Şimdi plaklar arasındaki açının değişmezliğini ifade eden denklemleri yazabiliriz. Bu bağıntıların birincisi (44) denklemiyle verilmiştir. 2ve3 ayrıtlarına ait denklemler simetriden dolayı (40)'dan $Y_4=Y_2$ ve $v_4=-v_3$ olacak şekilde bulunur. Bu suretle sayısal değerleri yerlerine koyarak ve (e) denklemlerini kullanarak,

$$14.62\bar{Y}_1 - 7.24\bar{Y}_2 + 3.68\bar{Y}_3 = 1186.75$$

$$-7.24\bar{Y}_1 + 19.62\bar{Y}_2 - 8.77\bar{Y}_3 = -1400.68$$

$$3.68\bar{Y}_1 - 8.77\bar{Y}_2 + 6.94\bar{Y}_3 = -2351.87$$

yazabiliriz. Bunların çözümünden kg/cm olarak

$$\bar{Y}_1 = 93.20 \quad \bar{Y}_2 = -483.91 \quad \bar{Y}_3 = -999.82$$

bulunur. Bunlar yardımıyla da (e) denklemlerinden

$$\bar{v}_1 = 3.4715\text{cm} \quad \bar{v}_2 = 0.2663\text{cm}$$

ve bilahare (c)'den kg/cm olarak

$$\Delta\bar{s}_1 = -2.1968 \quad \Delta\bar{s}_2 = 1.3547 \quad \Delta\bar{s}_3 = 8.7434$$

ve nihayet (d) denklemlerinden kg/cm alarak

$$\Delta\bar{T}_1 = -18.6379 \quad \Delta\bar{T}_2 = 21.2588$$

Bu sonuçları kullanarak (13)'ten, $\bar{T}$ ve $\bar{s}$ yerine $\bar{T} + \Delta\bar{T}$ ve $\bar{s} + \Delta\bar{s}$ için hesaplanmış olan değerleri koyarak, aşağıdaki kuvvetleri

$$\begin{array}{lll} \bar{N}_1 = 72478 & \bar{N}_2 = -25651 & \bar{N}_3 = -46827 \\ \bar{M}_1 = 990917 & \bar{M}_2 = 1961088 & \bar{M}_3 = -396776 \end{array}$$

levha momentleri elde edilir. $x = \frac{1}{2}L$ açıklık ortası ($\sin \frac{m\pi}{2} = 1$) için bu suretle :

$$C_0 = 102.62 \quad C_1 = 4.24 \quad C_2 = -21.14 \quad C_3 = -9.57 \text{ kg/cm}^2$$

2. $m=3$ için kısmi hesap:

Hesap sırası $m=1$ halinde olduğu gibidir. Sonuçlar:

$$\begin{array}{lll} \bar{Y}_1 = -52.24 & \bar{Y}_2 = -133.32 & \bar{Y}_3 = -121.05 \text{ kgcm/cm} \\ \bar{N}_1 = 3163 & \bar{N}_2 = -1905 & \bar{N}_3 = -1263 \\ \bar{M}_1 = 43641 & \bar{M}_2 = 126606 & \bar{M}_3 = -159048 \end{array}$$

$x = \frac{1}{2}L$ için (yani $\sin \frac{m\pi}{2} = -1$) ile

$$C_0 = -2.18 \quad C_1 = 0.19 \quad C_2 = 1.44 \quad C_3 = -0.61$$

3. $m=5$ için kısmi hesap:

Daha önce $m=3$ halinde, v yerdeğişimlerinin Y plak momentlerinin büyüklüğüne tesirinin önemsiz olduğu ifade edildiğinden hesap, ara ayritlar boyunca, plakların elastik olmayan bir tarzda mesnetlendiğı kabul edilerek yapılmıştır. Buna göre (40) ve (44) denklemlerinden v' li terimler silinmiştir. Çözümde:

$$\bar{Y}_1 = -45 \quad \bar{Y}_2 = -76 \quad \bar{Y}_3 = -74 \text{ kgcm/cm}$$

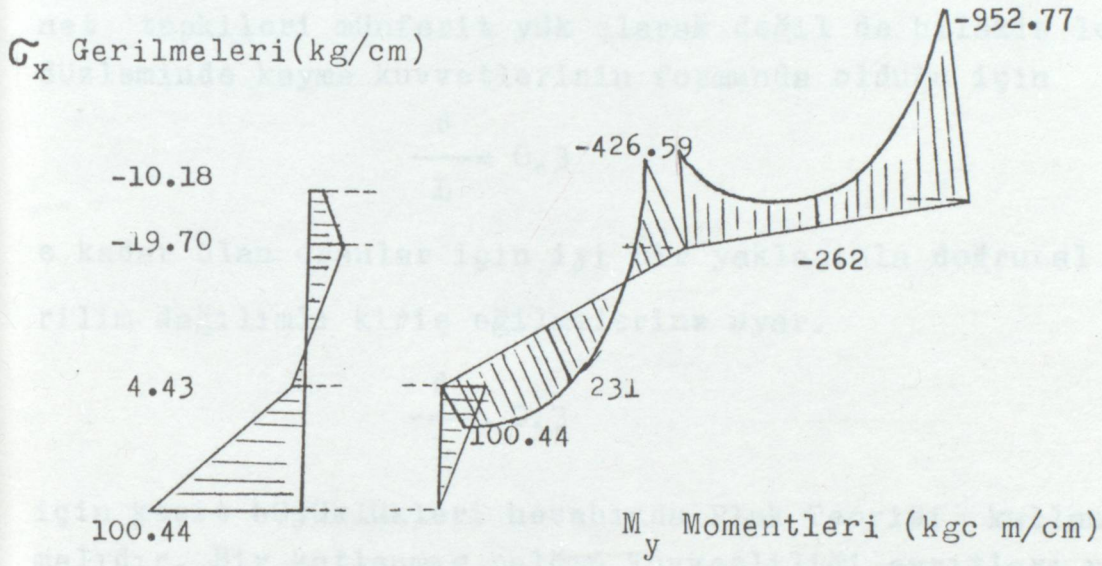
bulunmuştur.

$m=1, 3$ ve 5 kısmi neticelerinden $x = \frac{1}{2}L$ için hesaplanan plak momentleri ile levha gerilmelerinin değışimi Şekil 4.9 da görölmektedir.

Hesap Kontrolleri:

Her x =sabit kesiti için, $\sum_i N = 0$ olmalıdır. Ayrıca birbirine temas eden levhaların müşterek ayritlarındaki C_x kenar gerilmelerinin büyüklükleri de eşit olmalıdır. Nihayet her x =sabit

kesitindeki iç kuvvetler, bir iç moment teşkil ederlerki bu da dış momente eşittir.



(Şekil: 4.9)

5. KATLANMIŞ PLAKLAR İÇİN PRATİK HESAP METODU

5.1. GİRİŞ

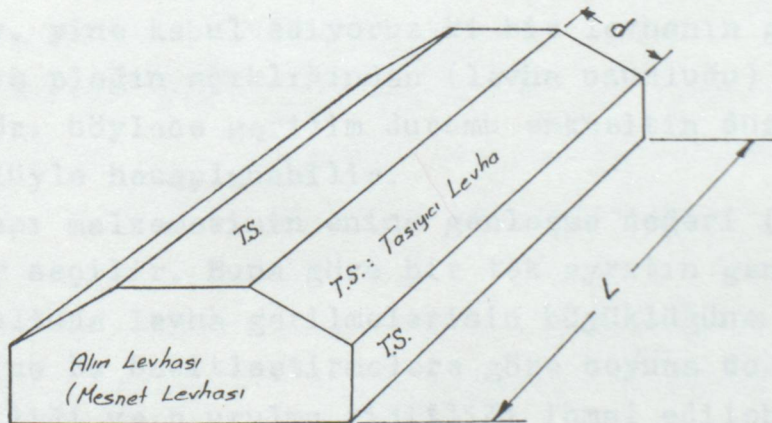
Levhanın d genişliğinin L açıklığına küçük oranlarında katlanmış plak sistemi doğrusal gerilim dağılımı varsayımı altında kiriş olarak hesaplanabilir. Diğer durumlarda kesit büyüklükleri tam plak teorisiyle kesinleştirilmelidir. Mesnet tepkileri münferit yük olarak değil de bilakis levha düzleminde kayma kuvvetlerinin formunda olduğu için

$$\frac{d}{L} = 0.3$$

e kadar olan oranlar için iyi bir yaklaşımla doğrusal gerilim dağılımlı kiriş eğilmelerine uyar.

$$\frac{d}{L} > 0.3$$

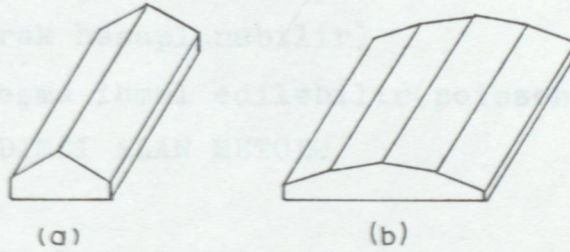
için kesit büyüklükleri hesabında Plak Teorisi kullanılmalıdır. Bir katlanmış palgın kuvvetliliği ayrıtları n taşıma kabiliyetindedir. Bundan dolayı tüm yükler plak eğilmeleri yardımıyla tek tek ayrıtlar üzerine intikal etmelidir. İki levhanın a yratı üzerine etkiyen yükler, levha yüzeyinde iki bileşene ayrılır. Bu kuvvetler taşıyıcı levhalardan (T.3) alın levhalarına taşınır.(Şekil 5.1)



5.2. PRİZMATİK MAFSALLI KATLANMIŞ PLAKLAR

5.2.1. HESAP ESASLARI

Bir çok katlanmış plakta levhaların şekil değiştir-
mesinden dolayı ihmal edilebilecek kadar küçük plak eğilme
momentleri meydana gelir. Komşu levhaların eğimleri arasın-
daki fark büyükse bu momentler ihmal edilebilir (Şekil 5.2a)
Bunu nla birlikte eğimler i kolay ayrılamayan levhalarda
(örneğin Şek. 2b deki düzlem elemanlı tonozlar) gerilme şek-
lini ta mamen değiştirebildiği için plak eğilme momentleri
ihmal edilemiyor.



(Şekil 5.2)

Bu bölümde, herşeyden önce katlanmış plağı aşağıdaki kabul-
lerle idealize edeceğiz: Levhaların birbirine mafsallı bağ-
landığı kabul edilen hesap modeli için, plak eğilme moment-
leri ayrıtlarda sıfır kabul edilir. Ancak kayma direnciyle
birbirineba ğlandığı kabul edilen iki levha sınırının eşit
büyüklükte u zama ya pma k zorunda olduğu bilinmelidir.
Böyle bir taşıyıcı sisteme mafsallı katlanmış plak adıve-
rilir. yine kabul ediyoruz ki bir levhanın genişliği kat-
lanmış plağın açıklığından (levha uzunluğu) çokdaha kü-
çüktür. böylece gerilim durumu enkesitin düzlem kaldığı
kabulüyle hesaplanabilir.

yapı malzemesinin enine genleşme değeri (poisson oranı)
sıfır seçilir. Buna göre bir tek ayrıtın genleşmesi boyuna
doğrultuda levha gerilmelerinin büyüklüğüne bağlıdır.

Yine bu basitleştirmelere göre boyuna doğrultuda plak
rijitliği ve b urulma rijitliği ihmal edilebilir.

Böylece bir taşıyıcı levha burulma momenti almayabilir. ve levha etkisiyle yükler alın levhalarına iletilmezler. Bütün taşıyıcı levhaların mesnet şartları eşit olduğundan alın levhalarının plak eğilme rijitlikleri de ihmal edilebilir.

Hesaplar için karşılaşılan kabuller aşağıda özetlenmiştir Mafsallı, ama levhaların bağlantısında kayme direnci var. Yükleme yalnızca ayrıtlar üzerine.

Tüm levhaların plak eğilme ve burulma rijitlikleri ihmal edilebilir.

Plak genişliğinin plak uzunluğuna küçük oranlarında: 0.3

(Kiriş olarak hesaplanabilir)

Enine genleşme ihmal edilebilir(poisson).

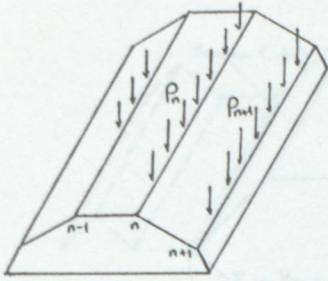
5.2.2. YARDIMCI ALAN METODU

5.2.2.1. HESAP ESASLARI

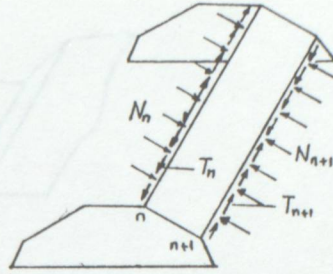
Mafsallı sistemin yüklemesini (Şekil 5.3a) ayrıtlara ayırırsak (şekil 5.3b), gerilim durumu levhada değişmediği için Kayma kuvveti ve Normal kuvvet büyüklükleri kesit doğrultusu boyunca yerleştirmeliyiz.

Düşey yüklemde normal kuvvet N doğrudan doğruya, levha düzlemi doğrultusunda etkiyen bileşkenin ikiye ayrılmasıyla bulunabilir.

Kayma kuvveti T , bir ayrıttaki iki levha kenarının eşit büyüklükte uzama yapacağı kabulünden bulunabilir. Her bir ayrıt için içinde 3 bilinmeyen kayme kuvveti bulunan bir eşitlik yazılabilir. Bu eşitlik üç denge denklemi olarak bilinir. Bir katlanmış plak Şekil 5.4' e göre değiştirilse bu yöntem yapılacak iş çok kapsamlı olmasına rağmen uygulanabilir.



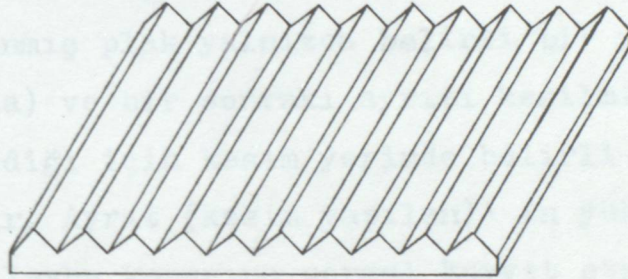
(Şekil 5.3.a)



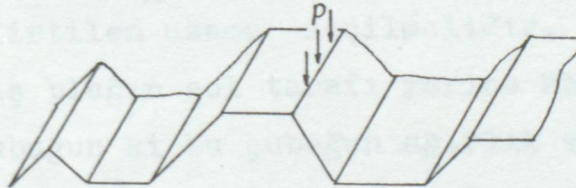
(Şekil 5.3b)

a- Ayırıtları yüklenmiş katlanmış plak

b- Herbir plağın kenarındaki kesme kuvvet ve normal Kuv.

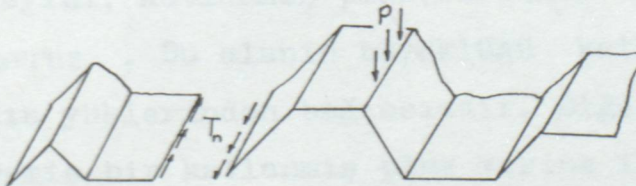


(Şekil 5.4) Çok gözlü katlanmış plak



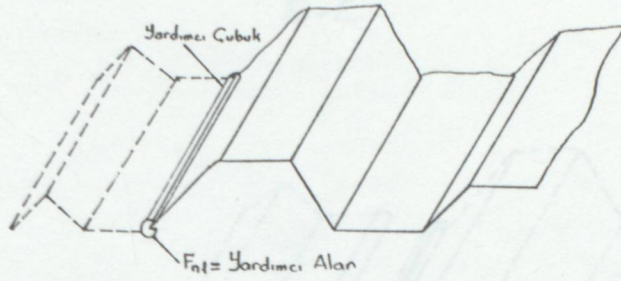
(Şekil 5.5a)

a- Bir ayırıtı yüklenmiş katlanmış plak



(Şekil 5.5b)

b- Bu katlanmış plağın diğer bir ayırıtından kesit



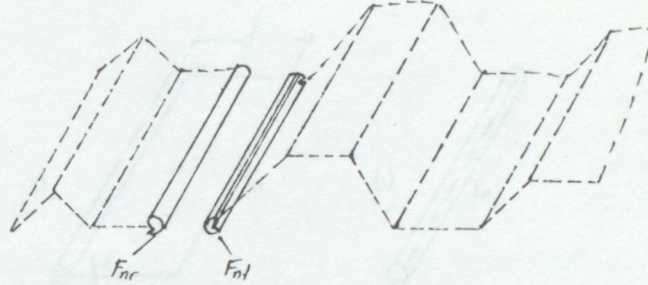
(Şekil 5.6) n ayrıtının kesitinin sol kısmı için yedek çubuklu K.P.

Tasarlanan katlanmış plak için 21 bilinmeyane göre 21 denklem çözülür. Bu yorucu işi olabildiğince çabuklaştırmak için aşağıdaki düşünceden hareket edeceğiz:

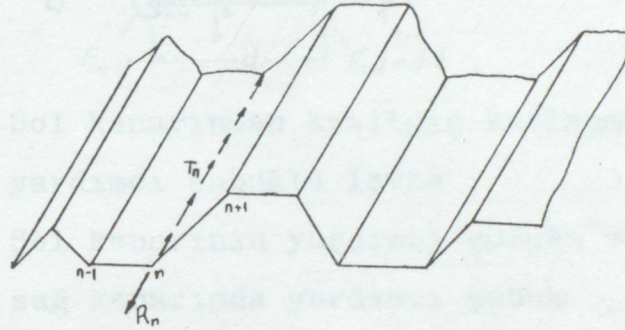
Eğer bir katlanmış plak yalnızca belirli bir yeri yüklenmiş (Şekil 5.5a) ve bir sonraki ayrıtı kesilmişse, gerilme durumu değişmediği için kesim yerinde belirli kayma kuvvetleri olmalıdır. Ayrıt (kesim yapılan)' ın yüksüz olduğu kabul edilirse, levha kenarına normal kuvvet etkimez. Sol Tarafında etki eden T_n kayma kuvvetleri kesim yerinde uzama meydana getirir. T_n kayma kuvvetinin etkisi altında ortaya çıktığı belirtilen uzama seçilmelidir.

Katlanmış plağın sol tarafı yerine konulduğu düşünülen yardımcı çubuğun ki bu çubuğun ağırlık ekseniiyle Ayrıt çizgisi özdeştir(Şekil 5.6) enkesit alanı oldukça büyük seçilmelidir. Zira etki eden kayma kuvvetleri yanında, yeniden benzer uzamalar meydana gelmektedir. Yardımcı çubuğun enkesit yüzeyini, katlanmış plak(Yardımcı Alan) 'ı olarak isimlendiriyoruz . Bu alanın büyüklüğü katlanmış plağın sağ tarafının yüklerinden bağımsızdır. Diğer bir adımda, ayrıtı yüklenmemiş bir katlanmış plak yerine iki alan kullanılabilir(Şekil 5.7). Dış T_n kayma kuvvetinden dolayı bir kesitte R_n bileşke kuvveti etki ediyorsa (Şekil 5.8), incelenen ayrıtın bu yerinde meydana gelen gerilme

$$\zeta_n = \frac{R_n}{F_{nl} + F_{nr}} \quad (1)$$



(Şekil 5.7) Katlanmış plağın sağ ve sol kısımları için n ayrıtının yardımcı çubukları



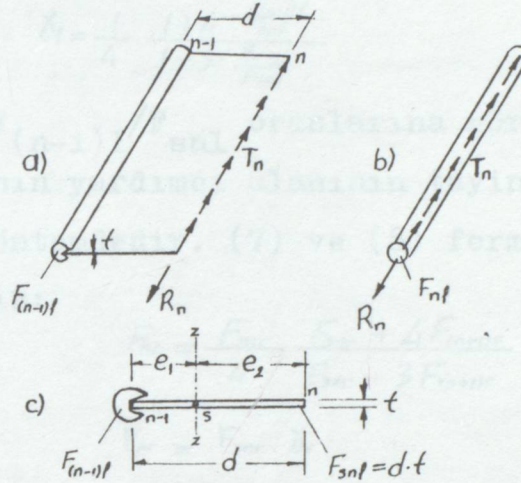
(Şekil 5.8) İncelenen kesitte n ayrıtında etki eden T_n kayma kuvveti, R_n kesit kuvvetini vermektedir.

5.2.2.2 Yardımcı Alan

Yardımcı alanın tayini katlanmış plağın ayrıtından ayrıtı-na adım adım sonuçlandırılmaktadır. Örneğin $n-1$ ayrıtının sol tarafı için $F_{(n-1)l}$ yardımcı alanı biliniyorsa, n ayrıtının sol tarafı için F_{nl} yardımcı alanı bulunabilir. İncelenen (Şekil 5.9a) n ayrıtında R_n 'den dolayı meydana gelen gerilme diyagonal çubuk gibi (Şekil 5.9b) benzer yüklemde aynı yerde eşit büyüklükte olmalıdır. Şekil 5.9c 'de gösterilen en kesit için, Z eksenine göre mukuvemet momenti aşağıda elde edilmiştir.

$$W_{n-1} = \frac{d}{6} (F_{3n1} + 4F_{(n-1)1}) \quad (2a)$$

$$W_n = \frac{d F_{3n1} (F_{3n1} + 4F_{(n-1)1})}{6 (F_{3n1} + 2F_{(n-1)1})} \quad (2b)$$



Şekil 5.9 a- Sol kenarından kesilmiş katlanmış plak için yardımcı çubuklu levha

b- Sol kenarının yardımcı çubuğu ve levha için sağ kenarında yardımcı çubuk

c- Sol kenarının yardımcı çubuğu ve levha enkesiti.

Tüm enkesitin hesabı

$$F_{\text{total}} = F_{(n-1)1} + F_{3n1} \quad (3)$$

Ağırlık merkezinin durumu

$$(a) \quad e_1 = \frac{d}{2} \frac{F_{3n1}}{F_{3n1} + F_{(n-1)1}} \quad (b) \quad e_2 = \frac{d}{2} \frac{F_{3n1} + 2F_{(n-1)1}}{F_{3n1} + F_{(n-1)1}} \quad (4)$$

Bu değerlerle R_n den dolayı n ayrıtındaki gerilme

$$\sigma_n = \frac{R_n}{F_{3n1} + F_{(n-1)1}} + \frac{R_n \cdot e_2}{W_2} \quad (5)$$

ya da

$$\sigma_n = \frac{R_n}{F_{n1}} \quad (6)$$

Aranılan yardımcı alan için (2b) ve (4b)' nin yerlerine konulmasıyla (5) ve (6)' nin eşitiliğiyle uzun ara hesaplardan sonra:

$$F_{nl} = \frac{F_{3nl}}{4} \cdot \frac{F_{3nl} + 4F_{(n-1)l}}{F_{3nl} + 3F_{(n-1)l}} \quad (7a)$$

ya da

$$F_{nl} = F_{3nl} \cdot \delta_l \quad (7b)$$

burada

$$\delta_l = \frac{1}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{F_{(n-1)l}}{F_{3nl}}}{1 + 3 \cdot \frac{F_{(n-1)l}}{F_{3nl}}} \quad (8)$$

değerleri, $F_{(n-1)l}/F_{3nl}$ oranlarına göre tablolaştırılmıştır.

Sağ tarafının yardımcı alanının tayini, prensipte solunkine benzer yöntemdedir. (7) ve (8) formuna benzer şekilde elde edebiliriz:

$$F_{nr} = \frac{F_{3nr}}{4} \cdot \frac{F_{3nr} + 4F_{(n+1)r}}{F_{3nr} + 3F_{(n+1)r}} \quad (9a)$$

veya

$$F_{nr} = F_{3nr} \cdot \delta_r \quad (9b)$$

burada

$$\delta_r = \frac{1}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{F_{(n+1)r}}{F_{3nr}}}{1 + 3 \cdot \frac{F_{(n+1)r}}{F_{3nr}}} \quad (10)$$

5.2.2.3. Gerilmeler İçin Nakil Sayısı

$n-1$ ayırıtında R_n 'den dolayı meydana gelen (Şekil 5.9) gerilme

$$\sigma_{n-1} = \frac{R_n}{F_{3nl} + F_{(n-1)l}} - \frac{R_n \cdot e_2}{W_{n-1}} \quad (11a)$$

$$\sigma_{n-1} = \lambda_{nl} \cdot \sigma_n \quad (11b)$$

$$\lambda_{nl} = \frac{\sigma_{n-1}}{\sigma_n}$$

ya da (2) ve (4) formüllerine göre (5) ve (11a) değerleriyle

$$\lambda_{nl} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{F_{3nl}}{F_{3nl} + 3F_{(n-1)l}} \quad (12a)$$

$$\lambda_{nl} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 3 \cdot \frac{F_{(n-1)l}}{F_{3nl}}} \quad (12b)$$

δ_l gibi λ_{nl} 'de her $\frac{F_{(n-1)l}}{F_{3nl}}$ için tablolaştırılabilir.

$$\lambda_{nr} = -\frac{1}{2} \frac{1}{1 + 3 \frac{F_{n+nr}}{F_n}} \quad (13)$$

5.2.2.4. Gerilme Tayini

HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Bir mafsallı katlanmış plağın hesabında ilkönce aşağıdaki işlemler ele alınır:

Her bir levha enkesit yüzeyinin hesabı

Yardımcı Alanın hesabı: Bunun için her ayırıtın sağ ve sol kısmı toplanmalıdır. Örneğin n için

$$F_n = F_{nf} + F_{nr} \quad (14)$$

Bu değerler n ayırıtında etki eden kayma kuvveti bileşkesini veren gerilmelerin hesabında işe yarar.

λ_{nf} ve λ_{nr} gerilme nakil sayıları rının hesabı:

Bir sistem krokisinde λ_{nf} , λ_{nr} ve F_n değerleri kaydı(Şek.10)

BİR AYRITTA ETKİ EDEN KAYMA KUVVETİ BİLEŞKESİNİ

VEREN GERİLMELER

Katlanmış plağın kesitinin incelenmesinde n ayırıtında kayma kuvvetinden dolayı R_n etki ediyorsa (Şekil 11) bu kesitte n ayırıtı boyunca gerilme hesabı:

$$\sigma_n = \frac{R_n}{F_n} \quad (15)$$

n-1 'de

$$\sigma_{n-1} = \sigma_n \cdot \lambda_{nf} \quad (16a)$$

n-2 'de

$$\sigma_{n-2} = \sigma_{n-1} \cdot \lambda_{(n-1)f} \quad (17b)$$

Katlanmış plağın sağ tarafının gerilmesi de nakil sayıları ile çarpımı vasıtasıyla bilirlenebilir:

$$\sigma_{n+1} = \sigma_n \cdot \lambda_{nr}$$

$$\sigma_{n+2} = \sigma_{n+1} \cdot \lambda_{(n+1)r}$$

AYRITIN YÜKLENMESİYLE OLUŞAN GERİLMELER

Yüklenmiş bir katlanmış plak levhası, kenar kayma gerilmesi vasıtasıyla yülemenden meydana gelen eğilme momentihmal edilebilirse, eğilme gerilmesinden muaftır(Şek.5. 12)

Bir kesitte $T_{(x)}$ kayma kuvveti, $Q_{(x)}$ kiriş eğilme değerine göre kuvvetinden sonuçlandırılırsa:

$$T_{(x)} = \frac{Q_{(x)}}{h} \quad (17)$$

ve tek yönlü incelenen kesitin kayma kuvvetlerinin tamamı:

$$R_{(x)} = \int_0^x T_{(x)} dx = \frac{M_{(x)}}{h} \quad (18)$$

Belirli büyüklüklerin dış kayma kuvvetleri iki komşu ayrıt boyunca etki ediyorsa, bu durumda $P_{(x)}$ yüklemesi herbir levha kenarı boyunca etki etmeyip, ayrıt üzerinde etkiyorsa, levha eğilme gerilmesinden muaf kalır(Şekil 5.13).

Kayma kuvveti bileşikleri $P_{(x)}$ 'den dolayı etki eden eğilme momentiyle buna ilişkin kesitte dengededir:

$$\sum M_x = 0$$

$$R_{n-1} \cdot h_{nl} - R_{n+1} \cdot h_{nr} - M_x = 0$$

$$\sum M_z = 0$$

$$R_{n-1} \cdot d_{nl} - R_{n+1} \cdot d_{nr} = 0$$

$$\sum R = 0$$

$$R_n + R_{n-1} + R_{n+1} = 0$$

Bu eşitliklerden şu sonuçlar elde edilir:

$$R_{n+1} = \frac{M_x}{h_{nl} \cdot \frac{d_{nr}}{d_{nl}} - h_{nr}} \quad (19a)$$

$$R_{n-1} = \frac{M_x}{h_{nl} - h_{nr} \cdot \frac{d_{nl}}{d_{nr}}} \quad (19b)$$

$$R_n = -R_{n+1} - R_{n-1} \quad (19c)$$

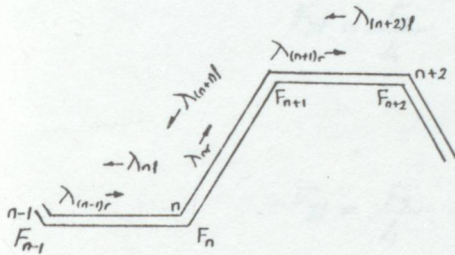
$h_{nl} = d_{nl} \cdot \tan \alpha$, $h_{nr} = d_{nr} \cdot \tan \beta$ eşitlikleriyle:

$$R_{n+1} = \frac{M_x}{d_{nr} (\tan \alpha - \tan \beta)} \quad (20a)$$

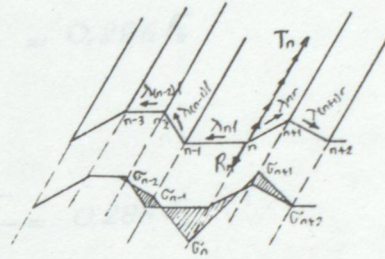
$$R_{n-1} = \frac{M_x}{d_{n1} (\tan \alpha - \tan \beta)} \quad (20b)$$

$$R_n = \frac{M_x (d_{nr} + d_{n1})}{d_{nr} \cdot d_{n1} (\tan \alpha - \tan \beta)} \quad (20c)$$

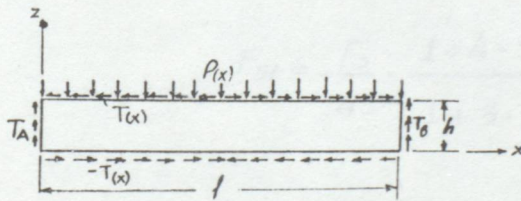
Böylece kayma kuvveti bileşkesi biliniyorsa, her R için gerilmeler bölüm 5.2.2.4.2' ye göre hesaplanabilir. Her bir R değerinden dolayı gerilmeler, son olarak yalnızca yerine yerleştirilir.



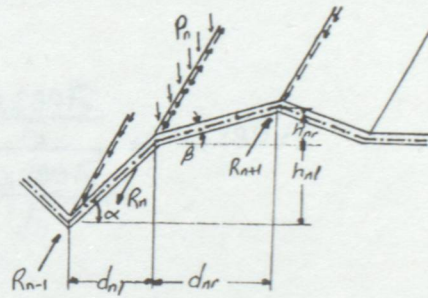
Şek.5.10 yardımcı alanların değerleri ve gerilme nakil sayıları gösterilen taşıyıcı şemanın kesiti



Şek.5.11 n ayırıtı boyunca R_n'den dolayı gerilmeler ve λ sayıları



Şek. 5.12 Kenarlarda kayma kuvvetleriyle yüklenmiş boy uzaması önlenmiş levha (boyuna gerilme :0)



Şek.13 Boy uzaması önlenmiş ayırıtta p yüklemesinden dolayı R ayırıt kayma kuvveti bileşkesi (Boyuna gerilme:0)

5.2.2.5. Enkesit yüzeyleri Eşit, sonsuz Bir Çok Levhadan Oluşan Katlanmış plak

Eşit enkesit yüzeyli sonsuz bir çok levhadan oluşan katlanmış plağın bir kesitini inceliyoruz. (Şekil 5.14)

Her levhanın enkesit alanı F_s dir. Sonuçlanan yardımcı alanın sol tarafını belirliyoruz:

$$F_{1l} = \frac{F_s}{4} = 0,250 F_s$$

$$F_{2l} = \frac{F_s}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{0,250 F_s}{F_s}}{1 + 3 \cdot \frac{0,250 F_s}{F_s}} = 0,286 F_s$$

$$F_{3l} = \frac{F_s}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{0,286 F_s}{F_s}}{1 + 3 \cdot \frac{0,286 F_s}{F_s}} = 0,288 F_s$$

$$F_{4l} = \frac{F_s}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{0,288 F_s}{F_s}}{1 + 3 \cdot \frac{0,288 F_s}{F_s}} = 0,289 F_s$$

$$F_{5l} = \frac{F_s}{4} \cdot \frac{1 + 4 \cdot \frac{0,289 F_s}{F_s}}{1 + 3 \cdot \frac{0,289 F_s}{F_s}} = 0,289 F_s$$

Görülüyor ki, F_{nl} , n yükseldikçe $F_{\infty l}$ belirli sınır değere yönelmektedir ki onu

$$F_{\infty l} = 0,289 F_s$$

bulduk. Bu değeri şu ilişkiyle de bulabiliriz:

$$F_{\infty l} = F_{nl} = F_{(n+1)l} \quad (21)$$

n büyüklük için ya da (7.a) eşitliğiyle

$$F_{ool} = \frac{F_3}{4} \cdot \frac{F_3 + 4F_{ool}}{F_3 + 3F_{ool}}$$

veya

$$4F_{ool}F_3 + 12F_{ool}^2 = F_3^2 + 4F_3F_{ool}$$

$$F_{ool}^2 = \frac{F_3^2}{12}$$

ve

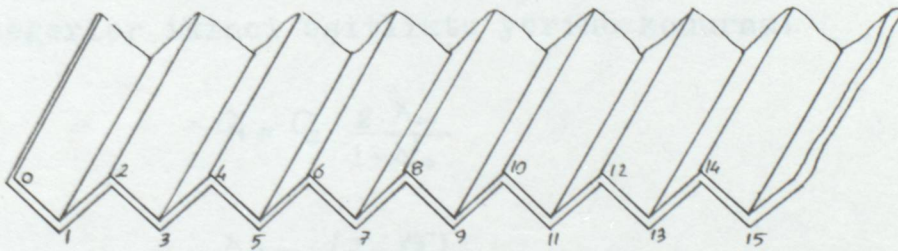
$$F_{ool} = \frac{F_3}{2\sqrt{3}} = 0,289F_3 \quad (22a)$$

$$F_{oor} = \frac{F_3}{2\sqrt{3}} = 0,289F_3 \quad (22b)$$

$$F_{oo} = F_{ool} + F_{oor} = \frac{F_3}{\sqrt{3}} = 0,577F_3 \quad (23)$$

(12a)ve(12b) de (22a)ve(22b) değerlerinin yerleştirilmesiyle gerilme nakil sayılarını elde ederiz:

$$\lambda_{ool} = \lambda_{oor} = -(2 - \sqrt{3}) = -0,268 \quad (24)$$



(şekil 5.14)

5.2.2.6. En Kesit Alanları Eşit Levhalı Katlanmış Plaklarda Ayrıt Problemi

Enkesit alanları eşit sonlu sayıda levhalı bir katlanmış plağın, taşıyıcı kenarın civarında bir ayrıtta yüklenmiş olduğunu kabul ediyoruz.

Bu amaçla şu düşüncelerden hareket ediyoruz: Şekil 5.15'te tasarlanan katlanmış plağın noktalı kısmı için, F_{oo} yar-

dımcı alanı ve λ_{∞} nakil sayısıyla gerilmeleri hesaplayabiliriz. İlave edildiği düşünülen kısımdan iki parçaya ayırırsak, gerilme durumu değişmediği için kesim yerinde uygun kayma kuvvleri olmalıdır (Şekil 5.16a). Bu kayma kuvvetleri üst üste konulan yük durumunda ortadan kaldırılabilir (Şekil 5.16.b).

Şekil 5.17 deki şemaya göre, gerilmeler aktarılabilir. Kontrol için kenar levhadaki gerilme durumu incelenir. I ve 2 noktalarındaki gerilmeler arasında aşağıdaki ilişkiler meydana gelir:

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_2}{2} \quad (25)$$

Şekil 5.17' ye göre taşıma şemasından aşağıdaki değerler çıkar:

$$\sigma_2 = \sigma_3 \cdot \lambda_{\infty} + \sigma_3 \cdot \lambda_{\infty}^3$$

$$\sigma_1 = 2 \cdot \sigma_3 \cdot \lambda_{\infty}^2$$

ilk eşitlikten

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_2}{\lambda_{\infty} + \lambda_{\infty}^3}$$

bu değerler ikinci eşitlikte yerine konursa:

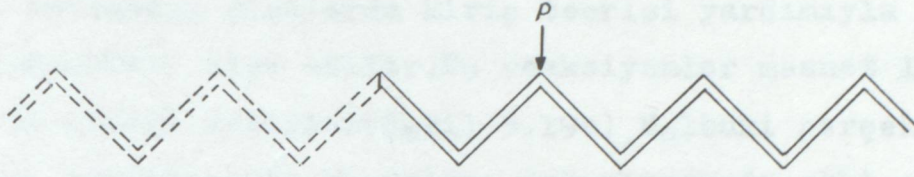
$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \frac{2 \cdot \lambda_{\infty}}{1 + \lambda_{\infty}^2}$$

$$\lambda_{\infty} = -(2 - \sqrt{3})$$

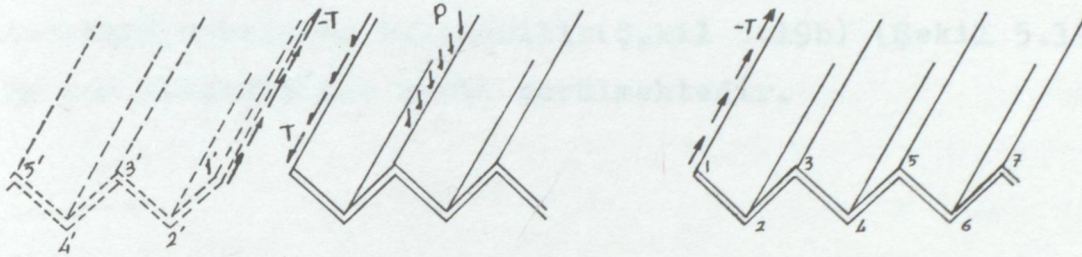
$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_2}{2}$$

Bu düşünce sadece Şekil 5.15'teki düzenli bir katlanmış plağa değil, Şekil 5.18'deki gibi inşa edilmiş taşıyıcılar için de geçerlidir. Ama bütün levhaların enkesit yüzeylerinin eşit olduğu kabul edilir. Kuvvetli ya da zayıf bir levhalı kenar kısmı için bu hesap yöntemi kullanılmaz. Böyle

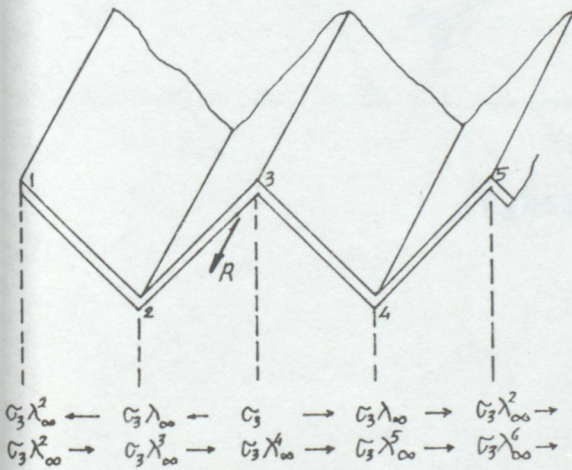
bir durumda F_n ve λ değerleri Bölüm 5.2.2.2 ve 5.2.2.3'e göre hesaplanır. (Bkz. Tablo 3)



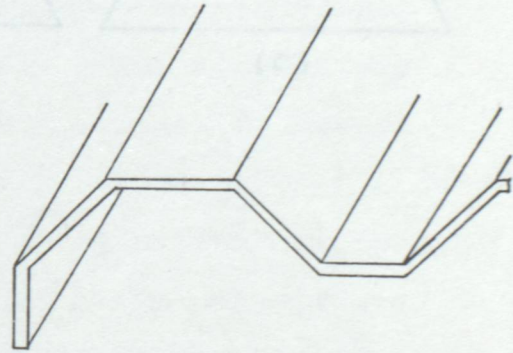
(Şekil 5.15)



(Şekil 5.16)



(Şekil 5.17)



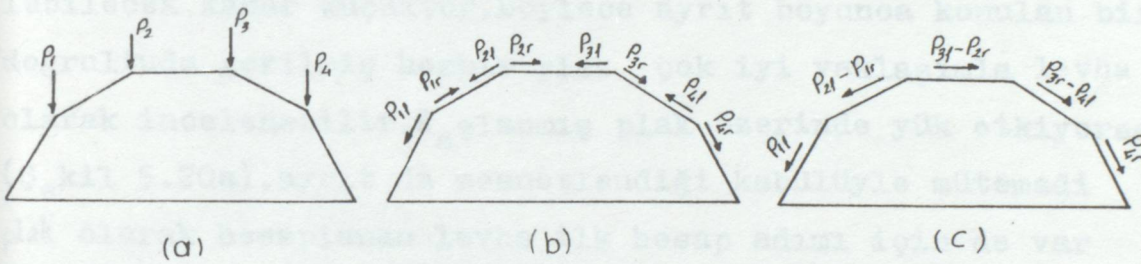
(Şekil 5.18)

5.2.3. MESNET LEVHASININ YÜKLERİ

Katlanmış plağa etki eden, mesnet levhası ya da alın levhası üzerindeki yük hesabı için aşağıdaki düşüncelerden hareket edilir:

Mafsallı katlanmış plağının bir ayırıtını yüklemişsek, taşıyıcı levha bu ayırıt yüklerini yalnızca mesnet levhasına aktarır, bu esnada diğer bütün levhalar yük taşımazlar. Bu nedenle mesnet levhası yüklerinin araştırılması için

basit bir yöntem mümkündür. Ayrıt yükleri için tek parçalı katlanmış plaklarda denge koşulu yardımıyla ya da çok parçalı katlanmış plaklarda kiriş teorisi yardımıyla mesnet reaksiyonları elde edilir. Bu reaksiyonlar mesnet levhalarına yük olarak etkirler (Şekil 5.19a). Halbuki gerçekte yükler mesnet levhalarının kenarları doğrultusunda etki etmezler. P_1 'den P_4 'e kadar her bir kenar yüklerin bileşkeleri oluşmaktadır. Aranılan kuvvetler levha kenarı doğrultusunda parçalara ayrılarak bulunabilir (Şekil 5.19b). (Şekil 5.19c)'de ise yüklerin son şekli görülmektedir.



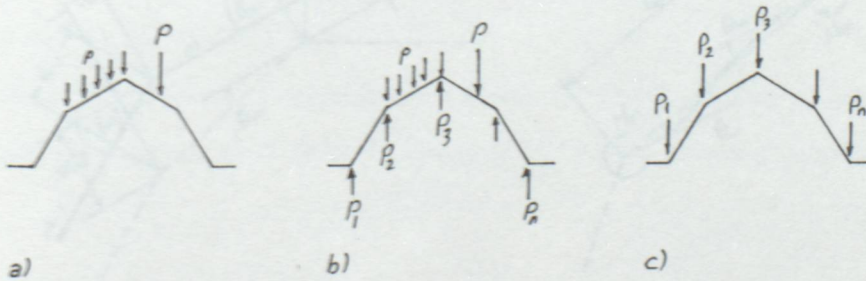
(Şekil 5.19)

5.3. DÜĞÜM NOKTALARI RİJİT KATLANMIŞ PLAKLAR

5.3.1. HESAP ESASLARI

5.3.1.1 Genel

Düğüm noktaları noktaları rijit taşıyıcı sistemlerde her bir levhada P_{plak} Eğilme ve Burulma momentleri ortaya çıkmaktadır. Bu momentler her noktada ana momentlerde bir araya getirilir. Bir katlanmış plak uzun açıklıklı dikdörtgenlerde levha etkisinin yanısıra plak olarak çalışır. Bundan dolayı büyük açıklık doğrultusunda küçük ana moment gerilmeleri, küçük açıklık doğrultusunda büyük ana momentleri meydana gelir. Her iki tesirin mukayesesinden görülmüyor ki, büyük açıklık doğrultusundaki gerilmeler ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Böylece ayırıt boyunca konulan bir doğrultuda gerilmiş her bir plak çok iyi yaklaşımla levha olarak incelenebilir. Katlanmış plak üzerinde yük etkiyorsa (Şekil 5.20a), ayırıt da mesnetlendiği kabulüyle mütemadi plak olarak hesaplanan levha ilk hesap adımı için de var olur. Böylelikle Şekil 5.20b'ye göre $P_1, P_2, \dots, P_n$ mesnet reaksiyonları ortaya çıkar. Gerçekte, 5.20b ve 5.20c yük durumları yerleştirilmek zorunda olduğu için taşıyıcı üzerinde bu kuvvetler etkimez. Çerçeve de tüm levha enkesitinin üzerinde lineer dağılımlı boyuna gerilmeler her bir levhada elde edilir. Bu gerilmelerden dolayı levha sehimleri elde edilir. Bu anlamda, her bir levha rijit bir şekilde birbirine bağlandığından plak eğilme momentleri ortaya çıkar.



(Şekil 5.20)

5.3.1.2 Ayritlarda Levha Dönme Açısı

Levhaları 1,2,3,...,m-1,m,m+1 vd.ile işaretliyoruz.Levha düzlemi doğrultusunda ortaya çıkan sehimler herbir levha için $v_1, v_2, \dots, v_{m-1}, v_m, v_{m+1}$ ile gösterilmiştir.Bu sehimler alışılmış statik kurallara göre bilinen kenar gerilmelerinde elde edilir.Şekil 5.21'e göre m levhasının kendi düzlemine dik sehimleri:

$$W_{ml} = \frac{v_{m-1} - v_m \cdot \cos \delta_{ml}}{\sin \delta_{ml}} \quad (26a)$$

$$W_{mr} = \frac{v_m \cdot \cos \delta_{mr} - v_{m+1}}{\sin \delta_{mr}} \quad (26b)$$

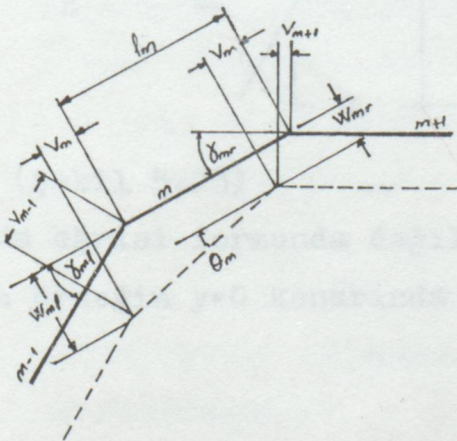
m levhasının θ_m dönme açısı

$$\theta_m = \frac{W_{ml} - W_{mr}}{l_m} \quad (27)$$

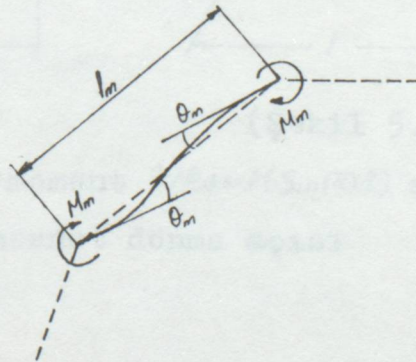
5.3.1.3 Ayrit Momentleri

Her levhanın dönme açısı biliniyorsa,düğüm noktaları rijit bağlanan levhaların eğilme momentleri bulunabilir.Bu çok basit bir moment dengeleme yöntemiyle gerçekleşir.Bu amaçla levha ayritlarına moment etki ettiriyoruz.Şekil5.22 deki m levhası için

$$M_m = - \frac{6EI_m \cdot \theta_m}{l_m} \quad (28)$$



(Şekil 5.21)



(Şekil 5.22)

5.3.1.4 Eğilme Momentlerinden Dolayı Ayırıt Yükleri

Ayırıtlarda eğilme momentleri biliniyorsa, bilinen çubuk dengesine göre mesnet kuvvetleri hesaplanabilir. Şekil 5.23a'daki mesnet kuvvetleri:

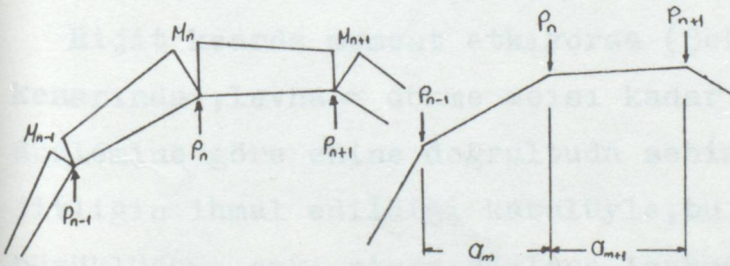
$$P_n = \frac{M_{n-1} - M_n}{\alpha_n} + \frac{M_{n+1} - M_n}{\alpha_{n+1}} \quad (29)$$

Bu kuvvetler gerçekte taşıyıcı üzerinde etkimez. Bu nedenle Şekil 5.23b'deki yük durumunun mevcut gerilme durumu aktarılmalıdır. Momentlerden elde edilen ayırıt yükleri mevcut yüklerden daha küçükse, kesit büyüklükleri üzerinde diğer etkiler ihmal edilebilir. Ancak birçok durumda momentten dolayı ayırıt yükleri daha büyüktür.

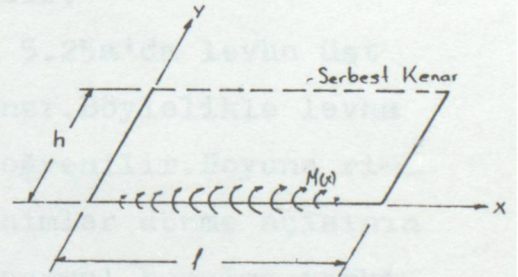
5.3.1.5 Kenar Levhada Ankastre

LEVHA DÜZLEMİNE DİK YÜKSÜZ KENAR LEVHA

Bir katlanmış plağın diğer levhalarında burulma rijitliği ihmal edilmeli ise kenar levhasında enkesit formuyla göz önüne alınmalıdır. Böyle bir levha, levha kenar momenti etkisiyle bir ayırıt etrafında döndürülebilir. Moment etkisi ile oluşan dönme açısı, p lak üç tarafından mesnetlenmişse levha teorisi yardımıyla belirlenebilir. (Şekil 5.24)



(Şekil 5.23)



(Şekil 5.24)

Sinüs eğrisi formunda dağılan moment $M(x) = M \cdot \sin(\pi x/l)$ etkisi altında örneğin $y=0$ kenarında α mesnet dönme açısı

qabuk için etkiyen momentlerle (Şekil 5.26)

$$\alpha(x) = \frac{M \cdot l}{2\pi K} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} \cdot \frac{1 + \left(\frac{\pi h}{l}\right)^2 + 3 \cosh^2 \frac{\pi h}{l}}{\frac{\pi h}{l} + 3 \sinh \frac{\pi h}{l} \cdot \cos \frac{\pi h}{l}} \quad (30)$$

(K: Levha Rijitliği)

x (L/2)'de dönme açısı:

$$\alpha_{max} = \frac{M \cdot l}{2\pi K} \cdot \frac{1 + \left(\frac{\pi h}{l}\right)^2 + 3 \cosh^2 \frac{\pi h}{l}}{\frac{\pi h}{l} + 3 \sinh \frac{\pi h}{l} \cdot \cos \frac{\pi h}{l}} \quad (31a)$$

$$\alpha_{max} = \frac{M \cdot l}{2\pi K} \cdot \psi \quad (31b)$$

$$\psi = \frac{1 + \left(\frac{\pi h}{l}\right)^2 + 3 \cosh^2 \frac{\pi h}{l}}{\frac{\pi h}{l} + 3 \sinh \frac{\pi h}{l} \cdot \cos \frac{\pi h}{l}} \quad (31c)$$

Bu ψ değeri moment etkisindeki (sinüs eğrisi formunda) basit bir durum için oldukça komplike yapılarda kullanılır. diğer dağılımlarda dönme açısı belirli olduğu için moment dağılımına göre bir Fourier Serisi ile gösterilmelidir. Kesitin burulma rijitliği de göz önüne alınmalıdır.

Rijit kearda moment etkiyorsa (Şekil 5.25a'da levha üst kenarında), levha α dönme açısı kadar döner. Böylelikle levha düzlemine göre enine doğrultuda sehim öğrenilir. Boyuna rijitliğin ihmal edildiği kabulüyle, bu sehimler dönme açısının büyüklüğüne etki etmez. Böylece levhada normal burulma tepkisindeki gibi eşit büyüklükte dönme elde edilir (Şekil 5.25b). Bu araştırma kenar levhanın boyuna doğrultuda plak rijitliğinin ihmalinin doğruluğunu göstermektedir. Boyuna doğrultuda plak rijitliğinin ve burulma rijitliğinin ihmalden dolayı hatalar oluşmaktadır.

Çubuk için etkiyen momentlerle (Şekil 5.26)

$$M(x) = M \cdot \sin \frac{\pi x}{l}$$

dönme açısı

$$\theta(x) = \frac{M \cdot l^2}{\pi^2 G \cdot I_T} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} \quad (32)$$

Malzemenin enine genleşmesinin ihmalinde $G = E/2$

h yüksekliğinde ve t kalınlığında dar dikdörtgen enkesit için

$$I_T = \frac{h \cdot t^3}{3} \quad K = \frac{E \cdot t^3}{12} \quad v = 0$$

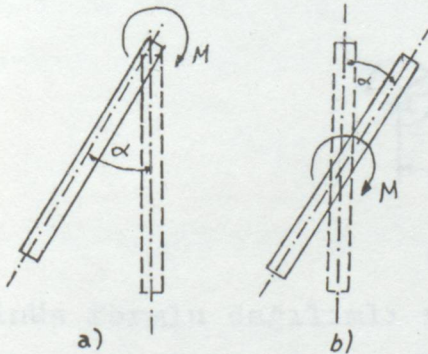
$$\theta(x) = \frac{M \cdot l^2}{2 \cdot \pi^2 h \cdot K} \sin \frac{\pi x}{l} \quad (33)$$

Maksimum dönme açısı ortada

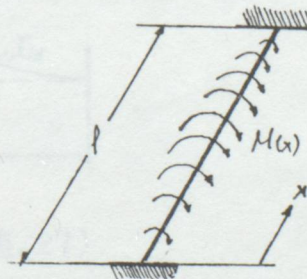
$$\theta_{max} = \frac{M \cdot l}{2 \pi K} \cdot \frac{l}{\pi h} \quad (34a)$$

$$\theta_{max} = \frac{M \cdot l}{2 \pi K} \cdot \psi_1 \quad (34b)$$

$$\psi_1 = \frac{l}{\pi h} \quad (34c)$$



(Şekil 5.25)



(Şekil 5.26)

Plak teorisine göre elde edilen ψ değerini ψ_i değeriyle karşılaştırırsak, h/L 'nin küçük oranlarında bu değerlerin birbirinden ayrıldığını görürüz. $h/L=0.1$ 'den büyük oranlarda fark büyük olur. Kenar levhada h/L oranının 0.1 'den küçük olduğu normal durumlarda dönme açıları yaklaşık formüllerle hesaplanabilir. Bu sadeleştirme yardımı ile dönme açısını diğer moment dağılımı formüllerinde de kullanabiliriz.

Eş ölçülü dağılımlı moment için :

$$M_x = M$$

$$\theta(x) = \frac{M \cdot l^2}{4 \cdot h \cdot K} \cdot \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \quad (35)$$

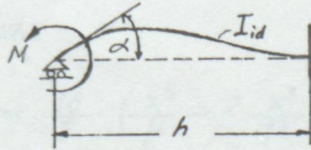
$$\theta_{max} = \frac{M \cdot l^2}{16 \cdot h \cdot K} \quad (36)$$

Elde edilen dönme açılarını (34) ve (36) eşitlikleri) moment dağılımı için kullanabiliriz. ^Ulektarafından ankastre çubuk (Şekil 5. 27) rijitlik sayısı ile dönme açısı :

$$k_{id} = \frac{I_{id}}{h}$$

$$\alpha = \frac{M}{4 \cdot E \cdot k_{id}}$$

$$\alpha = \theta_{max} \Rightarrow \frac{M}{4 E k_{id}} = \frac{M \cdot l^2}{A \cdot K \cdot h}$$



(Şekil 5.27)

Sinüs formulu dağılımlı moment için : $A = 2\pi^2$ (37a)

Sabit sayılı moment dağılımında : $A = 16$ (37b)

Moment dengelenmesi için ideal rijitlik

$$k_{id} = \frac{A \cdot h \cdot K}{L \cdot f^2 \cdot E}$$

Ayrıca $K = EI$ ise

$$k_{id} = \frac{A \cdot h^2}{L \cdot f^2} \cdot \frac{I}{h}$$

I/h ' ı k ile (kenar levhanın rijitlik değeri) gösterirsek, ideal rijitlik:

(A değeri 37 eşitliğinden)

$$k_{id} = \frac{A \cdot h^2}{L \cdot f^2} \cdot k \quad (38)$$

Burulma gerilmesi gözönüne alınan kenar levha için ideal rijitlik yardımıyla zahmetsiz moment dağılımı yapılabilir.

LEVHA DÜZLEMİNE DİK YÜKLENMİŞ KENAR LEVHA

Kenar levha yüzeyine dik yüklenmişse, aşağıdaki gibi bir hesap yöntemine gidilir:

İlk önce kenar levhayı ilk iç ayırıtından bağlandığını düşünelim. Boyuna doğrultuda plak rijitliği ihmal edilirse; yüklemenin tamamı belirtilen ayrıta aktarılır. Kenar levha konsol plak gibi davranır. İlk ayırıtın dengesi için gerekli ankas - trelik momentleri, bir dengeleme yöntemi ile (örneğin Cross) diğer momentlerle dengelenir.

5.3.2 İKİ TARAFINDAN SERBEST KATLANMIŞ PLAKLAR

5.3.2.1 Taşıyıcı Doğrultusunda Üiform Yayılı Yükleme

GENEL

Üiform yayılı yüklemde her bir levhanın Şekil 5.28'deki şeklini elde ediyoruz:

$$V(x) = V_{max} \cdot \frac{16}{5} \cdot \left(\frac{x^4}{f^4} - 2 \cdot \frac{x^3}{f^3} + \frac{x}{f} \right) \quad (39)$$

Sinüs serisi yardımıyla

$$V(x) = V_{max} \cdot \frac{1536}{5 \cdot \pi^5} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{m^5} \sin \frac{m\pi x}{f} \quad (40)$$

Bu dizilerde ilk terim dikkate alınırrsa:

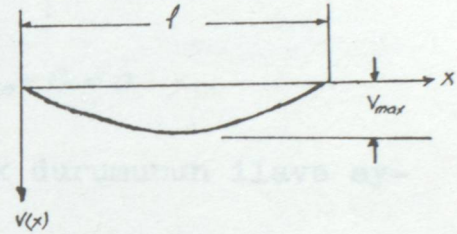
$$V(x) = V_{max} \cdot \frac{1536}{5 \cdot \pi^5} \sin \frac{\pi \cdot x}{l} \quad (40)$$

$$\frac{1536}{5 \cdot \pi^5} = 1,00385 \approx 1,0$$

$$V(x) = V_{max} \cdot \sin \frac{\pi \cdot x}{l} \quad (41)$$

(39)değeri ile (41)değeri arasındaki önemsiz sapmalar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

$\frac{x}{l}$	$\frac{V(x)}{V_{max}}$ gerçek	$\frac{V(x)}{V_{max}}$ Yaklaşık	Yaklaşık Hata Yüzdesi %
0	0,000	0,000	0
0,10	0,314	0,309	-1,6
0,20	0,594	0,578	-2,7
0,30	0,813	0,809	-0,5
0,40	0,952	0,951	-0,1
0,50	1,000	1,000	0



(Şekil 5.28)

(39) formülüne göre sehîm eğrisi dağılımına Sinüs eğrileriyle yaklaşırsak,ayrıtlar doğrultusunda eğilme momentlerini verir.Bu momentlerden ileri gelen ilave ayrıt yükleri Sinüs formunda dağılmaktadır.Olur olmaz bu ilave yükler esas yüklerden büyüktür,diğer hesaplar aşağıdaki gibi gerçekleşir.Sinüs formunda yüklenmiş ayrıtlar için kezt büyüklüklerini elde ediyoruz. Bir katlanmış plak ayrıtının yüklenmesi sonucu aşağıdaki gibi bir yardımcı yük durumu elde edilir:

Bu ayrıt $P = \sin(\pi x/l)$ ile yüklenir.Kesit büyüklüklerinin belirlenmesi için ayrıt momentlerinden dolayı ilave ayrıt yükleri hesaplanır(29 eşitliği).Bu ilave yükler ve ilk önce ele alınan ayrıt yüklenmesi yardımcı yük durumlarının genel

yüklemesini teşkil eder. Katlanmış plak ayrit sayısı kadar benzer yardımcı yük durumu teşkil etmek mümkündür. n Ayritının yüklemesinden elde edilen yardımcı yük durumunun en son geçerli ayrit yükleri:

1. Ayrit için: $P_{1,n} \sin(\pi x/L)$

2. Ayrit için: $P_{2,n} \sin(\pi x/L)$

3. Ayrit için: $P_{3,n} \sin(\pi x/L)$ vd.

Lineer kombinasyonlar için her yük durumu, belirli c sabitleriyle de çarpılmalıdır. n Ayritının yüklenmesinden dolayı yardımcı yük durumu C_n ile çarpılmalıdır.

$$C_1 \cdot P_{1,1} + C_2 \cdot P_{1,2} + C_3 \cdot P_{1,3} + \dots + C_n \cdot P_{1,n} + P_1 = 0$$

$$C_1 \cdot P_{2,1} + C_2 \cdot P_{2,2} + C_3 \cdot P_{2,3} + \dots + C_n \cdot P_{2,n} + P_2 = 0$$

$$C_1 \cdot P_{3,1} + C_2 \cdot P_{3,2} + C_3 \cdot P_{3,3} + \dots + C_n \cdot P_{3,n} + P_3 = 0 \quad (42)$$

$$\vdots$$

$$C_n \cdot P_{n,1} + C_2 \cdot P_{n,2} + C_3 \cdot P_{n,3} + \dots + C_n \cdot P_{n,n} + P_n = 0$$

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, $x=L/2$ 'de esas yük durumunun ilave ayrit yükleridir.

Bu denklem sisteminden $C_1, \dots, C_n$ sabitleri belirlenir. Bu değerler biliniyorsa, herbir yük durumunda kesit büyüklüklerinin lineer kombinasyonlarıyla ilave levha gerilmeleri ve eğilme momentleri elde edilir.

HESAP KONTROLÜ

Önceki bölüme göre belirlenen C değerlerinin hesap kontrolü aşağıdaki gibi gerçekleşir:

Bu taşıyıcı yalnız mevcut ayrit yüklemesiyle değil, ilave ayrit yüklemesinden de hesaplanır:

$$P_{n(ila)} = C_n \cdot \sin \frac{\pi x}{L}$$

Her levha için sehimler yeniden hesaplanır, eğilme momentleri elde edilir. Hesap doğruysa, eğilme momentlerinden hesaplanan ilave ayrit yükleri, mevcut ilave ayrit yüklerini

yok eder.

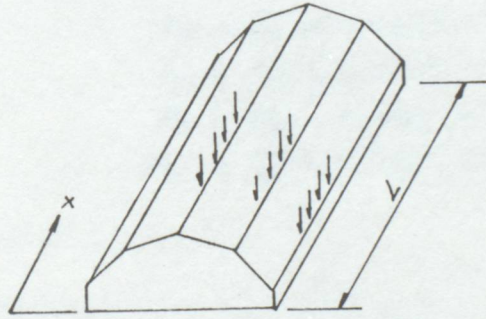
5.3.2.2 Kısmen Yüklenmiş Katlanmış Plaklar

Şekil 5.29'daki katlanmış plak L boyunca tamamı yüklenmemişse, her ayırıt için yükleme Sinüs Serisi yardımıyla şu formda teşkil edilir:

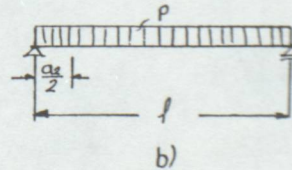
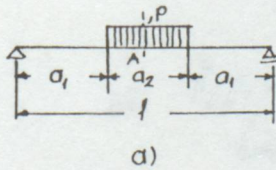
$$p(x) = \sum_{m=1,2,3}^{\infty} A_m \cdot \sin \frac{m\pi x}{L}$$

Bu serinin her terimi için katlanmış plak hesabı özelleştirilerek uygulanmalıdır. Her bir değer yerlerine konulmasıyla en son geçerli kesit büyüklüğü bulunur. Şekil 5.30a'daki yüklenmiş kirişin A noktasındaki eğilme gerilmesi, Şekil 5.30b'deki yüklemekten dolayı A_1 noktasındaki gerilmeye eşittir.

Katlanmış plak Şekil 5.30a'ya uygun yüklenmişse, orta yüzeydeki maksimum levha gerilmesi ve plak eğilme momenti, Şekil 5.30b'ye uygun yüklemeye-mesnetten $a_2/2$ uzaklıktaki hesaplanabilir.



(Şekil 5.29)



(Şekil 5.30)

5.4 SAYISAL ÖRNEKLER

5.4.1 Basit Mafsallı Katlanmış Plak

12m açıklıklı, iki ucu serbest mafsallı katlanmış plak için (Şek. 5.31a) ilk ayırıtın yüklenmesinden dolayı levhada gerilme durumu.

Enkesit Alanı : Kenar Levha $0,17m^2$
İç Levhalar $0,34m^2$

Yardımcı Alan

$$F_{1f} = \frac{0,17}{4} = 0,0425 m^2$$

F_{2f} : Tablo 1 den

$$\frac{F_{n-1f}}{F_{3nf}} = \frac{0,0425}{0,34} = 0,125 \quad : \quad \delta_{nf} = 0,273$$

$$F_{2f} = 0,273 \cdot 0,34 = 0,0928 m^2$$

$$F_{3f} = 0,287 \cdot 0,34 = 0,0966 m^2$$

$$F_{4f} = 0,303 \cdot 0,17 = 0,0515 m^2$$

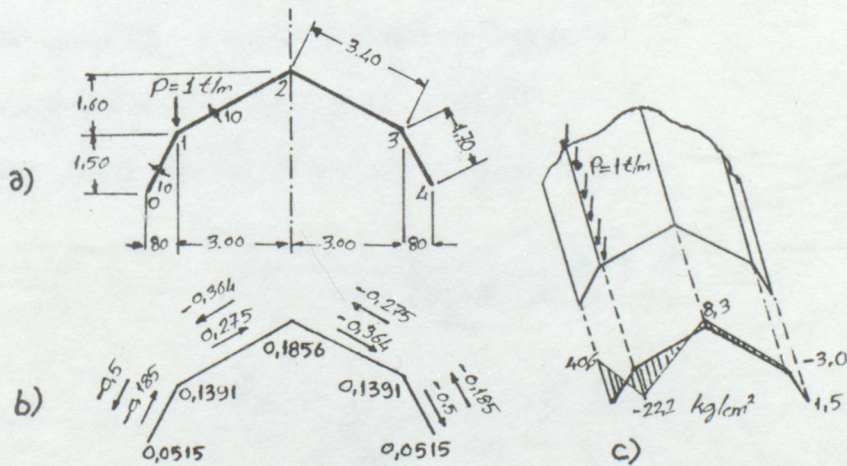
simetriden dolayı

$$F_{3r} = F_{1f} = 0,0425 m^2$$

$$F_{2r} = F_{2f} = 0,0928 m^2$$

$$F_{1r} = F_{3f} = 0,0966 m^2$$

$$F_{4r} = F_{4f} = 0,0515 m^2$$



(Şekil 5.31)

Herbir ayrıt için toplam yardımcı alanlar

$$\begin{aligned} F_0 &= 0,0515 \text{ m}^2 \\ F_1 &= 0,0425 + 0,0966 = 0,1391 \text{ m}^2 \\ F_2 &= 0,0928 + 0,0928 = 0,1856 \text{ m}^2 \\ F_3 &= F_1 = 0,1391 \text{ m}^2 \\ F_4 &= F_0 = 0,0515 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Gerilme Nakil Sayısı

1 ayrıtımdan kenara kadar $\lambda_{1f} = -0,5$

2 ayrıtımdan 1 ayrıtıma kadar $\lambda_{2f} :$

$$\frac{F_{1f}}{F_{2f}} = \frac{0,0425}{0,340} = 0,125$$

Tablo 2 den

$$\lambda_{2f} = -0,364$$

benzer şekilde

$$\lambda_{3f} = -0,275$$

$$\lambda_{4f} = -0,185$$

Simetriden

$$\lambda_{or} = \lambda_{4f}$$

$$\lambda_{1r} = \lambda_{3f}$$

$$\lambda_{2r} = \lambda_{2f}$$

Bu değerler (Şek. 5.31b)' de gösterilmiştir.

Kayma Kuvveti Bileşkesi

1 ayrıtımdın $\rho = 1 \text{ t/m}$ ile yüklenmesi sonucu

$$M_{max} = 0,125 \cdot \rho \cdot l^2 = 0,125 \cdot 1 \cdot 12^2 = 18 \text{ tm}$$

(19) eşitliğine göre açıklık ortası için

$$R_0 = \frac{18}{1,5 - \frac{1,6 \cdot 0,8}{3,0}} = 16,77 \text{ t}$$

$$R_2 = \frac{18}{\frac{1,5 \cdot 3,0}{0,8} - 1,6} = 4,47 \text{ t}$$

$$R = -16,77 - 4,47 = -21,24 \text{ t}$$

R₀ dan dolayı sol kenarda gerilme

$$\sigma_{\infty} = \frac{16,77}{0,0515} = 325,6 \text{ t/m}^2$$

R₁ den dolayı 1 de gerilme

$$\sigma_{II} = \frac{-21,24}{0,1391} = -152,7 \text{ t/m}^2$$

R₂ den dolayı 2'de gerilme

$$\sigma_{22} = 24,1 \text{ t/m}^2$$

Gerilme Nakil Sayısı ve Düzenlenmesi

(Altı çizili başlangıç değerleri sayılarıyla taşınır.)

Ayırıt 0	Ayırıt 1	Ayırıt 2	Ayırıt 3	Ayırıt 4
<u>325,6</u>	- 60,2	16,6	- 6,0	3,0
76,4	<u>- 152,7</u>	42,0	- 15,3	7,7
4,4	- 8,8	<u>24,1</u>	- 8,8	4,4
406,4	- 221,7	82,7	- 30,1	15,1 t/m ²

Bu sonuçlar (gerilme dağılımı) Şekil 5.31c' de gösterilmiştir.

5.4.2 Levha Enkesit Yüzeyleri Eşit Sürekli Mafsallı Katlanmış Plaklar

Şekil 32'de gösterilen, 3 ayırıtı üzerinde bir faydalı yük için açıklık ortasındaki gerilmelerin elde edilmesi.

Faydalı Yük $p = 2,0 \text{ t/m}$ 3 ayırıtı üzerinde

Açıklık $l_1 = l_2 = l_3 = 11,55 \text{ m}$

Yardımcı Alan Metoduna Göre Gerilmenin Elde Edilmesi

Levha Enkesit Alanı: $0,25 \text{ m}^2$

Bölüm 5.2.2.5'e göre yardımcı alan

$$F_{\infty} = 0,577 \cdot 0,25 = 0,144 \text{ m}^2$$

Gerilme nakil sayısı (bkz. 24 eşitliği)

$$\lambda_{\infty l} = \lambda_{\infty r} = -0,268$$

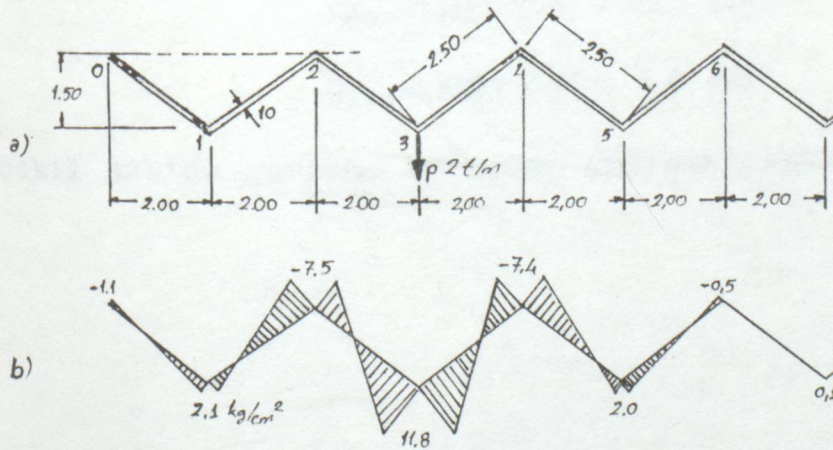
Açıklık ortasında kiriş eğilme momenti

$$M = 0,075 p l^2 = 0,075 \cdot 2 \cdot 11,5^2 = 20 \text{ t m}$$

R-Kuvvetleri

$$R_2 = R_4 = \frac{-20}{2 \cdot 1,5} = -6,666 \text{ t}$$

$$R_3 = \frac{20}{1,5} = 13,333 \text{ t}$$



(Şekil 5.32)

2 Ayırıtında R_2 den dolayı taşınacak gerilme

$$\sigma_{22} = \frac{-6.666}{0.144} = -46.3 \text{ t/m}^2$$

3 Ayırıtında R_3 den dolayı

$$\sigma_{33} = \frac{13.333}{0.144} = 92.6 \text{ t/m}^2$$

4 Ayırıtında R_4 den dolayı

$$\sigma_{44} = \sigma_{22} = -46.3 \text{ t/m}^2$$

Gerilme Aktarılması ve Düzenlenmesi

Ayırıt 0	Ayırıt 1	Ayırıt 2	Ayırıt 3	Ayırıt 4
$\begin{matrix} - 3.3 \\ - 3.3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12.4 \\ 0.9 \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 46.3 \\ - 0.2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12.4 \\ 0.1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 3.3 \\ 0 \end{matrix}$
$\begin{matrix} - 1.8 \\ - 1.8 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6.6 \\ 0.5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 24.8 \\ - 0.1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 92.6 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 24.8 \\ \end{matrix}$
$\begin{matrix} - 0.2 \\ - 0.2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0.9 \\ 0.1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 3.3 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 12.4 \\ \end{matrix}$	$\begin{matrix} - 46.3 \\ \end{matrix}$
-10.6	21.4	-74.7	117.5	-74.4

Yüksüz 5,6,7, vd. ayırıtlar için 4'den sonraki gerilmeler ayırıttan ayırıtta λ_{or} ile elde edilir.

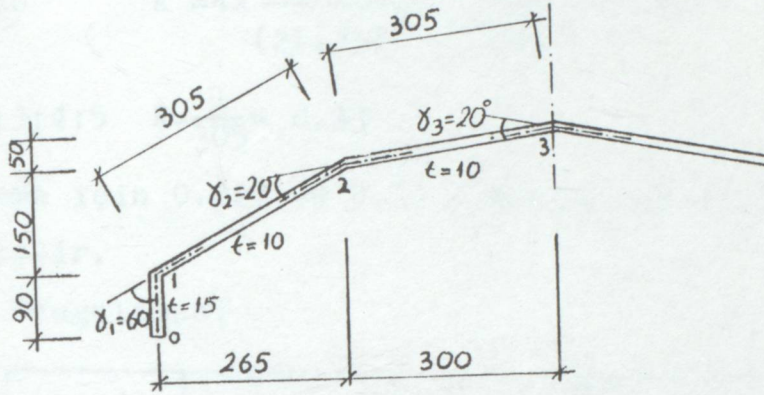
$$\sigma_5 = -0.268 \cdot (-74.4) = 19.9 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_6 = -0.268 \cdot (19.9) = -5.3 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_7 = -0.268 \cdot (-5.3) = 1.4 \text{ t/m}^2$$

Şekil 32b'de gerilme dağılımı gösterilmiştir.

5.4.3 Düğüm Noktaları Rijit, İki ucu Serbest Katlanmış Plak



Şekil 5.33

Şekilde gösterilen katlanmış plakta aşağıda verilen yükleme için enlemsel momentler ve boylamsal gerilmeler istenmektedir ($L=21.35$ m).

5.4.3.1 Yükleme

Flak 1;6	Kendi Ağırlığı	: $0.15 \times 2.4 \times 0.900 = 0.324 \text{ t/m}$
Flak 2;3;4;5	Kendi Ağırlığı	: $0.10 \times 2.4 \times 3.050 = 0.732 \text{ t/m}$
	Tecrit+Mek.Yük	: $= 0.1495$
	Hareketli Yük	: $= 0.2953$
		<u>1.1773 t/m</u>

Yüklemenin Yatay İzdüşümü

$$\text{Flak 2;5} \quad g = \frac{1.1773}{2.65} = 0.45 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Flak 3;4} \quad g = \frac{1.1773}{3.00} = 0.40 \text{ t/m}^2$$

5.4.3.2 Mesnetlenmiş Ayrıtlarda Eğilme Momenti

$$\text{Flak 2;5} \quad M = \pm \frac{1}{12} \times (2.65)^2 \times 0.45 = 0.263 \text{ tm/m}$$

$$\text{Flak 3;4} \quad M = \pm \frac{1}{12} \times (3.00)^2 \times 0.40 = 0.300 \text{ tm/m}$$

Moment Dengelemesi İçin Rijitlik Sayıları

$$\text{Flak 1;6} \quad (1.5)^3 = 3.375$$

$$\text{Flak 2;3;4;5} \quad (1)^3 = 1.000$$

Kenar Flaklar İçin İdeal Rijitlik Sayısı (Bkz.Bölüm5.3.1.5)

$$\text{Flak 1;6} \quad k = 4 \times \frac{(0.9)^2}{(21.35)^2} \times \frac{3.375}{0.9} = 0.027$$

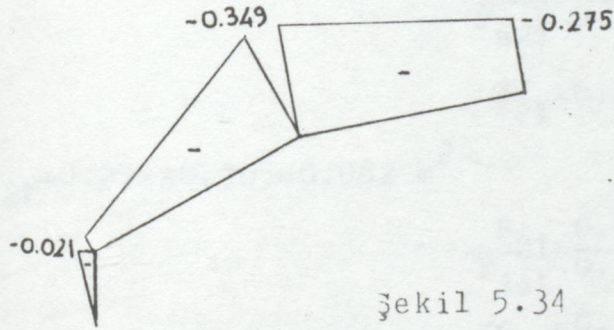
$$\text{Flak 2;3;4;5} \quad k = \frac{1}{305} = 0.33$$

Dengeleme için 0.027 ve 0.33 değerleri 0.08 ve 1 ile genişletilmiştir.

Moment Dengelemesi

0.08	1		1	
0	0.263	-0.263	0.300	-0.300
-0.019	-0.244	→ -0.122		
	0.021	← 0.042	0.043	→ 0.022
-0.002	-0.019	→ -0.01		
	0.003	← 0.005	0.005	← 0.003
	-0.003	→ -0.002		
		0.001	0.001	
-0.021	0.021	-0.349	0.349	-0.275

Şekil 5.34'te moment dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.34

5.4.3.3 Ayırıt Yükleri

$$\begin{aligned} \text{Ayırıt 1.} \quad \text{Flak 1:} &= 0.324 \text{ t/m} \\ \text{Flak 2:} &= 0.5 \times 1.1773 = 0.5887 \text{ t/m} \\ &= (0.021 - 0.349) / 2.65 = -0.1238 \text{ t/m} \\ g_1 &= 0.739 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Ayrıt 2.

Flak 2:

$$0.5 \times 1.1773 = 0.5887 \text{ t/m}$$
$$(0.349 - 0.021) / 2.65 = 0.1238 \text{ t/m}$$

Flak 3:

$$0.5 \times 1.1773 = 0.5887 \text{ t/m}$$
$$(0.349 - 0.275) / 3.00 = 0.025 \text{ t/m}$$
$$g_2 = 1.3262 \text{ t/m}$$

Ayrıt 3. Flak 3: $0.5 \times 1.1773 = 0.5887 \text{ t/m}$
 $(0.275 - 0.349) / 3.00 = -0.025 \text{ t/m}$
 Flak 4: $0.5 \times 1.1773 = 0.5887 \text{ t/m}$
 $(0.275 - 0.349) / 3.00 = -0.025 \text{ t/m}$
 $g_3 = 1.1274 \text{ t/m}$

5.4.3.4 Enkesit Değerleri

Flak Enkesit Alanları

Flak 1;6 $F_{sl} = 0.9 \times 0.15 = 0.135 \text{ m}^2$

Flak 2;3;4;5 $F_{s2} = 3.05 \times 0.1 = 0.305 \text{ m}^2$

Yardımcı Alanlar

$$F_{11} = 0.25 \times 0.135 = 0.034 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{12}}{F_{s2}} = \frac{0.034}{0.305} = 0.1$$

$$\gamma_{21} = 0.270 \quad (\text{Tablo 1'den})$$

$$F_{21} = 0.270 \times 0.305 = 0.082 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{21}}{F_{31}} = \frac{0.082}{0.305} = 0.27$$

$$\gamma_{31} = 0.287$$

$$F_{31} = 0.287 \times 0.305 = 0.088 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{31}}{F_{541}} = \frac{0.083}{0.305} = 0.27$$

$$41 = 0.288$$

$$F_{41} = 0.238 \times 0.305 = 0.088 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{41}}{F_{55}} = \frac{0.038}{0.305} = 0.29$$

$$\gamma_{51}=0.288$$

$$F_{51}=0.288 \times 0.305 = 0.088 \text{ m}^2$$

$$\frac{F_{51}}{F_{s61}} = \frac{0.088}{0.135} = 0.65$$

$$\gamma_{61}=0.305$$

$$F_{61}=0.305 \times 0.135 = 0.041 \text{ m}^2$$

Simetriden:

$$F_{0r}=F_{61}$$

$$F_{1r}=F_{51}$$

$$F_{2r}=F_{41}$$

$$F_{3r}=F_{31}$$

$$F_{4r}=F_{21}$$

$$F_{5r}=F_{11}$$

Herbir Ayritın Toplam Yardımcı Alanı

$$F_0=F_{0r}=0.041 \text{ m}^2$$

$$F_1=F_{11}+F_{1r}=0.034+0.088=0.122 \text{ m}^2$$

$$F_2=F_{21}+F_{2r}=0.082+0.088=0.170 \text{ m}^2$$

$$F_3=F_{31}+F_{3r}=0.088+0.088=0.176 \text{ m}^2$$

$$F_4=F_{41}+F_{4r}=0.088+0.082=0.170 \text{ m}^2$$

$$F_5=F_{51}+F_{5r}=0.088+0.034=0.122 \text{ m}^2$$

$$F_6=F_{61}=0.041 \text{ m}^2$$

Gerilme Nakil Sayıları (Hesaplanmış $\frac{F_{(n-1)l}}{F_{snf}}$ -Değerleriyle)

Tablo 2'den λ -Değerleri okunur.

$$\lambda_{11}=-0.5=\lambda_{5r}$$

$$\lambda_{41}=\lambda_{2r}=-0.268$$

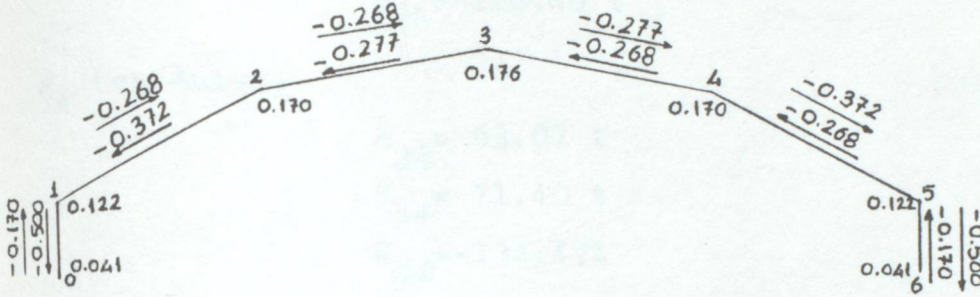
$$\lambda_{21}=\lambda_{4r}=-0.372$$

$$\lambda_{51}=\lambda_{1r}=-0.268$$

$$\lambda_{31} = \lambda_{3r} = -0.277$$

$$\lambda_{61} = \lambda_{Or} = -0.170$$

Yardımcı Alan Metodu'na göre gerekli tüm enkesit değerleri Şekil 5.35'te gösterilmiştir.



Şekil 5.35

5.4.3.5 Mafsallı Katlanmış Plakta Gerilmeler

Max Kiriş Eğilme Momentleri

$$\text{Ayrıt 1: } M = 0.125 \times g_1 \times l^2 = 0.125 \times 0.789 \times (21.35)^2 = 44.96 \text{ tm}$$

$$\text{Ayrıt 2: } M = 0.125 \times g_2 \times l^2 = 0.125 \times 1.3262 \times (21.35)^2 = 75.56 \text{ tm}$$

$$\text{Ayrıt 3: } M = 0.125 \times g_3 \times l^2 = 0.125 \times 1.1274 \times (21.35)^2 = 64.24 \text{ tm}$$

Ayrıt 4: Ayrıt 2'deki gibi

Ayrıt 5: Ayrıt 1' deki gibi

R-Değerleri ((19)'a göre)

g_1 'den dolayı

$$R_{01} = \frac{44.96}{0.9} = 49.96 \text{ t}$$

$$R_{11} = -49.96 \text{ t}$$

g_2 'den dolayı

$$R_{12} = \frac{75.56}{1.5 - 0.5 \times \frac{2.65}{3.00}} = 71.40 \text{ t}$$

$$R_{32} = \frac{75.56}{1.5 \times \frac{3.00}{2.65} - 0.5} = 63.07 \text{ t}$$

$$R_{22} = -71.40 - 63.07 = -134.47 \text{ t}$$

g_3 'ten dolayı

$$R_{23} = \frac{64.24}{2 \times 0.5} = 64.24 \text{ t}$$

$$R_{43} = \frac{64.24}{2 \times 0.5} = 64.24 \text{ t}$$

$$R_{33} = -128.48 \text{ t}$$

g_4 'ten dolayı

$$R_{34} = 63.07 \text{ t}$$

$$R_{54} = 71.40 \text{ t}$$

$$R_{44} = -134.47 \text{ t}$$

g_5 'ten dolayı

$$R_{65} = 49.96 \text{ t}$$

$$R_{55} = -49.96 \text{ t}$$

Toplam R-Değerleri

$$R_0 = 49.96 \text{ t}$$

$$R_1 = R_{11} + R_{12} = -49.96 + 71.40 = 21.44 \text{ t}$$

$$R_2 = R_{22} + R_{23} = -134.47 + 64.24 = -70.23 \text{ t}$$

$$R_3 = R_{32} + R_{34} + R_{33} = 63.07 + 63.07 + (-128.48) = -2.34 \text{ t}$$

$$R_4 = R_{44} + R_{43} = -134.47 + 64.24 = -70.23 \text{ t}$$

$$R_5 = R_{54} + R_{55} = 71.40 - 49.96 = 21.44 \text{ t}$$

$$R_6 = R_{65} = 49.96 \text{ t}$$

Dağıtılacak Gerilmeler

$$R_0 \text{'den dolayı 0 ayırıtında } \sigma_{00} = \frac{49.96}{0.041} = 1218.54 \text{ t/m}^2$$

$$R_1 \text{'den dolayı 1 ayırıtında } \sigma_{11} = \frac{21.44}{0.122} = 175.74 \text{ t/m}^2$$

$$R_2 \text{'den dolayı 2 ayırıtında } \sigma_{22} = \frac{-70.23}{0.170} = -413.12 \text{ t/m}^2$$

$$R_3 \text{'ten dolayı 3 ayırıtında } \sigma_{33} = \frac{-2.34}{0.176} = -13.30 \text{ t/m}^2$$

$$R_4 \text{'ten dolayı 4 ayırıtında } \sigma_{44} = \sigma_{22}$$

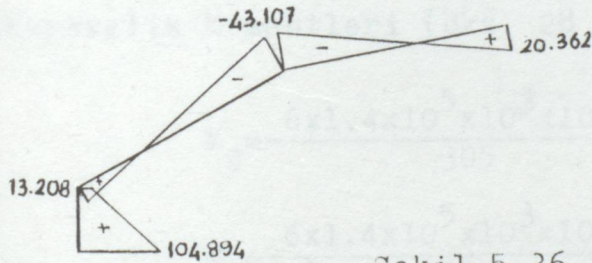
R_5 'ten dolayı 5 ayırıtında $\sigma_{55} = \sigma_{11}$

R_6 'dan dolayı 6 ayırıtında $\sigma_{66} = \sigma_{00}$

Gerilmelerin Taşınması ve Düzenlenmesi

Ayrıt 0	Ayrıt 1	Ayrıt 2	Ayrıt 3
1218.54 →	-207.15 →	55.52 →	-14.88
0.77 ←	-1.53 ←	4.12 ←	-14.88
-87.87 ←	175.74 →	-47.10 →	12.62
-0.65 ←	1.30 ←	-3.50 ←	12.62
-76.84 ←	153.68 ←	-413.12 →	110.72
-5.70 ←	11.41 ←	-30.67 ←	110.72
0.63 ←	-1.37 ←	3.68 ←	-13.30
1048.94	132.08	-431.07	203.62

Bu mafsallı katlanmış plak sisteminin gerilmeleri şekil 5.36'da gösterilmiştir.



Şekil 5.36

5.4.3.6 Mafsallı Katlanmış Plakın Şekil Değiştirmesi

Plak Sehimleri ($E = 1.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)

Plak Doğrultusundaki Yer Değiştirmeler

$$v_1 = v_6 = \frac{5}{48} \times \frac{(104.894 - 13.208) \times (2135)^2}{90 \times 1.4 \times 10^5} = 3.46 \text{ cm}$$

$$v_2 = -v_5 = \frac{5}{48} \times \frac{13.208 + 43.107 \times (2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = 0.63 \text{ cm}$$

$$v_3 = -v_4 = \frac{5}{48} \times \frac{(-43.107 - 20.362) \times (2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = -0.71 \text{ cm}$$

Plak Düzlemine Dik Sehimler ((26) eşitliği)

$$w_{21}=w_{5r}=\frac{3.46-0.63 \times \cos 60}{\sin 60}=3.63 \text{ cm}$$

$$w_{2r}=w_{51}=\frac{0.63 \times \cos 20 + 0.71}{\sin 20}=3.81 \text{ cm}$$

$$w_{31}=w_{4r}=\frac{0.63+0.71 \times \cos 20}{\sin 20}=3.79 \text{ cm}$$

$$w_{3r}=w_{41}=\frac{-0.71 \times \cos 20 - 0.71}{\sin 20}=-4.03 \text{ cm}$$

Plak Dönmeleri

$$\theta_2=-\theta_5=\frac{3.63-3.81}{305}=-5.9 \times 10^{-4}$$

$$\theta_3=-\theta_4=\frac{3.79+4.03}{305}=2.56 \times 10^{-2}$$

5.4.3.7 Düğüm Noktaları Rijit Katlanmış Plaklarda Ayrıt

Sehimlerden Dolayı Meydana Gelen Eğilme Momentleri

Ankastrelik Momentleri (Bkz. 28 eşitliği)

$$M_2=-\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times 10^3 \times 100/12}{305} \times (-5.9 \times 10^{-4})=0.135 \times 10^5 \text{ kgcm}$$

$$M_3=-\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times 10^3 \times 100/12}{305} \times (2.56 \times 10^{-2})=-5.875 \times 10^5 "$$

Moment Dengelemesi İçin Rijitlik Değeri

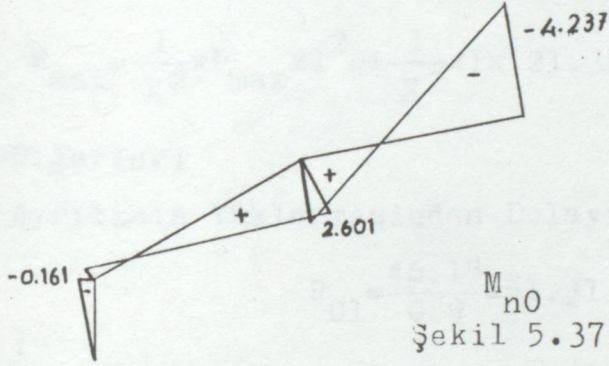
$$\text{Plak } 2;3;4;5 \quad k=\frac{1}{3.05}=0.33$$

$$\text{Plak } 1;6 \quad k=\frac{\pi^2}{2} \times \frac{(0.9)^2}{(21.35)} \times \frac{3.375}{0.9}=0.033$$

0.33 ve 0.033 değerleri 1 ve 0.1 ile genişletilmiştir.

Dengeleme

0.1	1.0	1.0
-0.012	0.135	0.135
	-0.123	→ -0.062
	1.451	← 2.901
-0.132	-1.319	→ -0.660
	0.165	← 0.330
-0.015	-0.150	→ -0.075
	0.019	← 0.037
-0.002	-0.017	→ -0.009
	0.002	← 0.004
	-0.002	→ -0.001
		0.001
-0.161	0.161	2.601
		-2.601
		-4.237



$$M_{10} = -0.161$$

$$M_{20} = 2.601$$

$$M_{30} = -4.237 \text{ tm/m}$$

Şekil 5.37

5.4.3.8 Eğilme Momentinden Dolayı Esas Düşey Yükler

$$P_{10} = \frac{-0.161 - 2.601}{2.65} = -1.043 \text{ t/m}$$

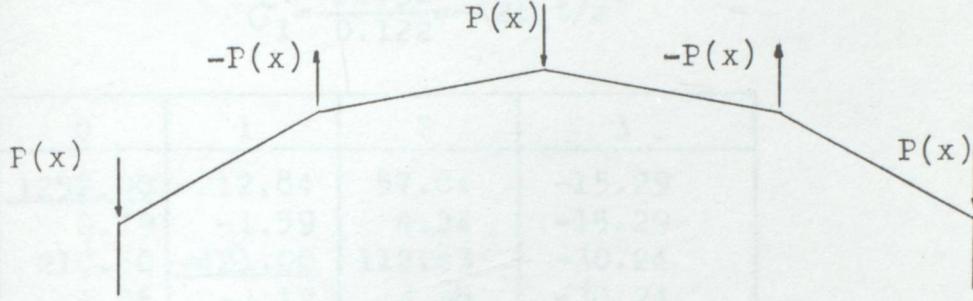
$$P_{20} = \frac{0.161 + 2.601}{2.65} + \frac{4.237 + 2.601}{3.00} = 3.322 \text{ t/m}$$

$$P_{30} = \frac{-2.601 - 4.237}{3.00} + \frac{-2.601 - 4.237}{3.00} = -4.559 \text{ t/m}$$

Bu esas yükler sehimlerdeki gibi düzgün dağılımlıdır. Çok iyi yaklaşıklıkla sinüs eğrisi formunda dağıldığı kabul edilebilir.

5.4.3.9 Yardımcı Yükleme (Birim Yükleme)

Taşıyıcı simetrik olduğu için Şek.5.38'deki gibi bir yardımcı yük durumu kullanılabilir. $P(x)=1$ t/m (sinüs formunda dağılımlı) max yükü seçiyoruz.



Şekil 5.38

Max Eğilme Momenti

$$M_{\max} = \frac{1}{\pi^2} \times P_{\max} \times l^2 = + \frac{1}{\pi^2} \times 1 \times (21.35)^2 = +46.18 \text{ tm}$$

R-Değerleri

1 Ayırıtının Yükleneşinden Dolayı

$$R_{01} = \frac{46.18}{0.9} = 51.31 \text{ t}$$

$$R_{11} = -51.31 \text{ t}$$

2 Ayırıtının Yükleneşinden Dolayı

$$R_{12} = \frac{-46.18}{1.5 - 0.5 \times \frac{2.65}{3.00}} = -43.64 \text{ t}$$

$$R_{32} = \frac{-46.18}{1.5 \times \frac{3.00}{2.65} - 0.5} = -38.54 \text{ t}$$

$$R_{22} = -R_{12} - R_{32} = 82.18 \text{ t}$$

3 Ayırıtının Yükleneşinden Dolayı

$$R_{23} = \frac{46.18}{2 \times 0.5} = 46.18 \text{ t}$$

$$R_{43} = 46.18 \text{ t}$$

$$R_{33} = -92.36 \text{ t}$$

Dağıtılacak Gerilmeler

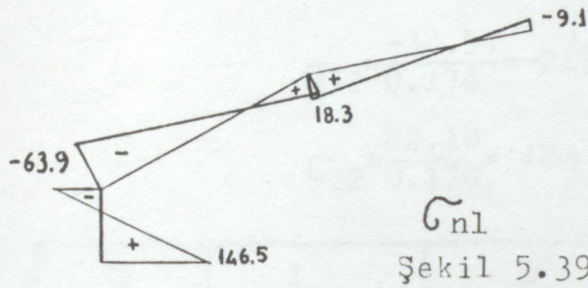
1 Ayırıtının Yüklenmesiyle

$$\sigma_0 = \frac{51.31}{0.041} = 1252 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{-51.31}{0.122} = -421 \text{ t/m}^2$$

0	1	2	3
1252.00	-212.84	57.04	-15.29
0.79	-1.59	4.24	-15.29
210.50	-421.00	112.83	-30.24
1.56	-3.12	8.38	-30.24
1464.85	-638.54	182.49	-91.06 t/m ²

Gerilme dağılımı Şekil 5.39'da gösterilmiştir.



$$\begin{aligned}\sigma_{01} &= 146.5 \\ \sigma_{11} &= -63.9 \\ \sigma_{21} &= 18.3 \\ \sigma_{31} &= -9.1 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Şekil 5.39

Şekil Değiştirmeler

Plakların Kendi Düzlemlerindeki Yer Değiştirmeler

$$v_1 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(146.5 + 63.9)(2135)^2}{90 \times 1.4 \times 10^5} = 7.71 \text{ cm}$$

$$v_2 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(-63.9 - 18.3)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = -0.89 \text{ cm}$$

$$v_3 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(18.3 + 9.1)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = 0.30 \text{ cm} = -v_4$$

Plak Düzlemine Dik Yer Değiştirmeler

$$w_{21} = \frac{7.71 + 0.89 \times \cos 60}{\sin 60} = 9.42 \text{ cm}$$

$$w_{2r} = \frac{-0.89 \times \cos 20 - 0.30}{\sin 20} = -3.32 \text{ cm}$$

$$w_{3l} = \frac{-0.89 - 0.30 \times \cos 20}{\sin 20} = -3.43 \text{ cm}$$

$$w_{3r} = \frac{0.30 \times \cos 20 + 0.30}{\sin 20} = 1.70 \text{ cm}$$

Dönme Açılıarı

$$\theta_2 = \frac{9.42 + 3.32}{305} = 4.18 \times 10^{-2}$$

$$\theta_3 = \frac{-3.43 - 1.70}{305} = -1.68 \times 10^{-2}$$

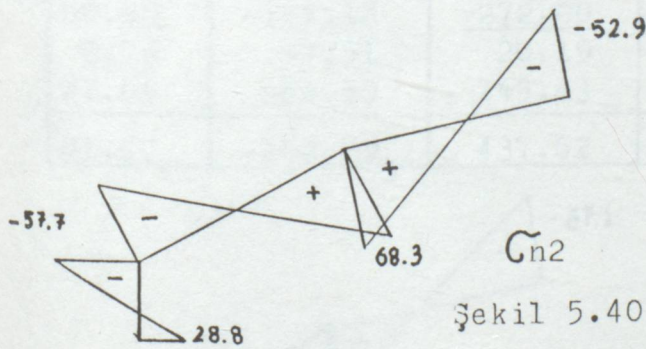
2 Ayırıtının Yüklenmesiyle

$$\sigma_{12} = \frac{-43.64}{0.122} = -358 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{32} = \frac{-33.54}{0.176} = -219 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{22} = \frac{32.18}{0.170} = 483 \text{ t/m}^2$$

0	1	2	3
179.00	<u>-358.00</u>	95.94	-25.72
1.33	-2.65	7.12	-25.72
89.84	-179.68	<u>483.00</u>	-129.44
6.67	-13.33	35.36	-129.44
11.28	-22.57	60.66	<u>-219.00</u>
288.12	-576.23	682.58	-529.32 t/m ²



Şekil 5.40

$$\begin{aligned} \sigma_{02} &= 28.8 \\ \sigma_{12} &= -57.7 \\ \sigma_{22} &= 68.3 \\ \sigma_{32} &= -52.9 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(28.8 + 57.7)(2135)^2}{90 \times 1.4 \times 10^5} = 3.17$$

$$v_2 = \frac{1}{2} \times \frac{(-57.7-68.3)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = -1.36 \text{ cm}$$

$$v_3 = \frac{1}{2} \times \frac{(68.3+52.9)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = 1.32 \text{ cm} = -v_4$$

$$w_{2l} = \frac{3.17 + 1.36 \times \cos 60}{\sin 60} = 4.45 \text{ cm}$$

$$w_{2r} = \frac{-1.36 \times \cos 20 - 1.32}{\sin 20} = -7.60 \text{ cm}$$

$$w_{3l} = \frac{-1.36 - 1.32 \times \cos 20}{\sin 20} = -7.60 \text{ cm}$$

$$w_{3r} = \frac{1.32 \times \cos 20 + 1.32}{\sin 20} = 7.49 \text{ cm}$$

$$\theta_2 = \frac{4.45 + 7.60}{305} = 3.95 \times 10^{-2}$$

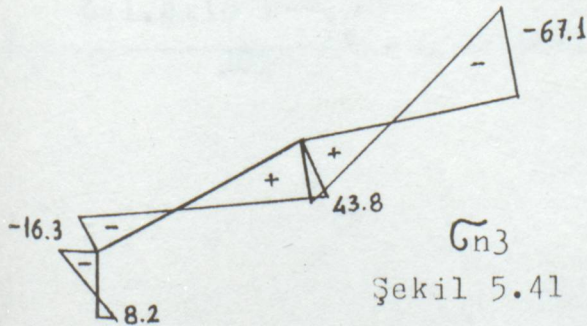
$$\theta_3 = \frac{-7.60 - 7.40}{305} = -4.95 \times 10^{-2}$$

3 Ayırıtının Yüklenmesiyle

$$G_{23} = \frac{46.18}{0.170} = 271.65 \text{ t/m}^2 = 272 \text{ t/m}^2$$

$$G_{33} = \frac{-92.36}{0.176} = -525 \text{ t/m}^2$$

0	1	2	3
50.59	-101.18	<u>272.00</u>	-72.90
3.76	-7.51	20.19	-72.90
27.05	-54.10	145.43	<u>-525.00</u>
81.60	-162.79	437.62	-670.80 t/m ²



$$\begin{aligned} G_{03} &= 8.2 \\ G_{13} &= -16.3 \\ G_{23} &= 43.8 \\ G_{33} &= -67.1 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(8.2+16.3)(2135)^2}{90 \times 1.4 \times 10^5} = 0.9 \text{ cm}$$

$$v_2 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(-16.3-43.8)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = -0.65 \text{ cm}$$

$$v_3 = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{(43.8+67.1)(2135)^2}{305 \times 1.4 \times 10^5} = 1.20 \text{ cm} = -v_4$$

$$w_{21} = \frac{0.90 + 0.65 \times \cos 60}{\sin 60} = 1.42 \text{ cm}$$

$$w_{2r} = \frac{-0.65 \times \cos 20 - 1.2}{\sin 20} = -5.29 \text{ cm}$$

$$w_{31} = \frac{-0.65 - 1.20 \times \cos 20}{\sin 20} = -5.20 \text{ cm}$$

$$w_{3r} = \frac{1.20 \times \cos 20 + 1.20}{\sin 20} = 6.81 \text{ cm}$$

$$\theta_2 = \frac{1.42 + 5.29}{305} = 2.20 \times 10^{-2}$$

$$\theta_3 = \frac{-5.2 - 6.81}{305} = -3.94 \times 10^{-2}$$

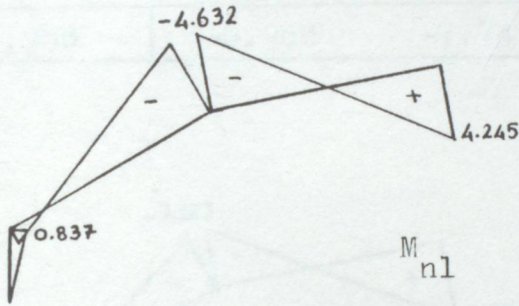
1 Ayırıtının Yüklenmesiyle

$$\theta_{21} = 4.18 \times 10^{-2} \quad \theta_{31} = -1.68 \times 10^{-2}$$

$$M_2 = -\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (4.18 \times 10^{-2}) = -9.593 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

$$M_3 = -\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (-1.68 \times 10^{-2}) = 3.856 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

0.1	1.0	1.0	1.0	1.0
0.872	-9.593	-9.593	3.856	3.856
-0.031	8.721	4.361	0.688	0.344
-0.004	0.344	0.688	0.078	0.040
	-0.313	-0.157	0.009	0.005
	0.040	0.079	0.009	0.005
	-0.036	-0.018	0.001	
	0.005	0.009		
	-0.005	-0.003		
		0.002		
0.837	-0.837	-4.632	4.632	4.245



Şekil 5.42

$$M_{11} = 0.837 \text{ tm/m}$$

$$M_{21} = -4.632 \text{ tm/m}$$

$$M_{31} = 4.245 \text{ tm/m}$$

$$P_{11} = \frac{0.837 + 4.632}{2.65} = 2.064 \text{ t/m}$$

$$P_{21} = \frac{-0.837 - 4.632}{2.65} + \frac{-4.245 - 4.632}{3.00} = -5.023 \text{ t/m}$$

$$P_{31} = \frac{4.632 + 4.245}{3.00} \times 2 = 5.918 \text{ t/m}$$

$$P_{H11} = 2.064 + 1 = 3.064 \text{ t/m}$$

2 Ayırıtının Yüklmesiyle

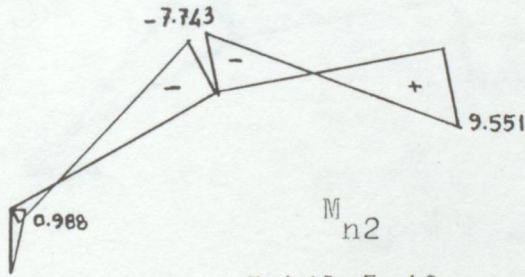
$$\theta_{22} = 3.95 \times 10^{-2}$$

$$\theta_{32} = -4.95 \times 10^{-2}$$

$$M_2 = - \frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (3.95 \times 10^{-2}) = -9.066 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

$$M_3 = -\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (-4.95 \times 10^{-2}) = 11.361 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

0.1	1.0	1.0
0.	-9.066	-9.066
0.824	8.242 → 4.121	11.361 11.361
	-1.604 ← -3.208	-3.208 → -1.604
0.146	1.458 → 0.729	
	-0.182 ← -0.365	-0.364 → -0.182
0.016	0.166 → 0.083	
	-0.021 ← -0.042	-0.041 → -0.021
0.002	0.019 → 0.010	
	-0.003 ← -0.005	-0.005 → -0.003
	0.003	
0.988	-0.988	-7.743 7.743 9.551



Şekil 5.43

$$M_{12} = 0.988 \text{ tm/m}$$

$$M_{22} = -7.743 \text{ tm/m}$$

$$M_{32} = 9.551 \text{ tm/m}$$

$$P_{12} = \frac{7.743 + 0.988}{2.65} = 3.295 \text{ t/m}$$

$$P_{22} = \frac{-0.988 - 7.743}{2.65} + \frac{-9.551 - 7.743}{3.00} = -9.059 \text{ t/m}$$

$$P_{32} = \frac{7.743 + 9.551}{3.00} \times 2 = 11.529 \text{ t/m}$$

$$P_{22H} = -10.059$$

3 Ayırıtının Yüklenmesiyle

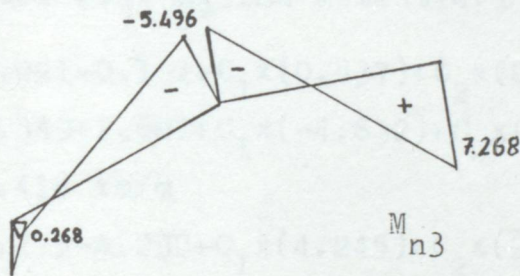
$$\theta_{23} = 2.20 \times 10^{-2}$$

$$\theta_{33} = -3.94 \times 10^{-2}$$

$$M_2 = -\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (2.20 \times 10^{-2}) = -5.049 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

$$M_3 = -\frac{6 \times 1.4 \times 10^5 \times \frac{10^3 \times 100}{12}}{305} \times (-3.94 \times 10^{-2}) = 9.043 \times 10^5 \text{ kgcm/cm}$$

0.1	1.0	1.0
	-5.049	-5.049
0.459	4.59 → 2.295	9.043 9.043
	-1.573 ← -3.144	-3.145 → -1.573
0.143	1.43 → 0.715	
	-0.179 ← -0.357	-0.358 → -0.179
0.016	0.163 → 0.082	
	-0.021 ← -0.041	-0.041 → -0.021
0.01	0.011 → 0.006	
	-0.002 ← -0.003	-0.003 → -0.002
	0.002	
0.628	-0.628	-5.496
		5.496 7.268



Şekil 5.44

$$\begin{aligned} M_{13} &= 0.628 \\ M_{23} &= -5.496 \\ M_{33} &= 7.268 \text{ tm/m} \end{aligned}$$

$$P_{13} = \frac{5.496 + 0.628}{2.65} = 2.311 \text{ t/m}$$

$$P_{23} = \frac{-0.628 - 5.496}{2.65} + \frac{-7.268 - 5.496}{3.00} = -6.566 \text{ t/m}$$

$$P_{33} = \frac{5.496 + 7.268}{3.00} \times 2 = 8.509 \text{ t/m}$$

$$P_{H33} = 9.509 \text{ t/m}$$

5.4.3.10 Verilen Yükleme İçin Plak Eğilme Momentleri Ve Boylamsal Plak Gerilmeleri

$$C_1 \cdot P_{11} + C_2 \cdot P_{12} + C_3 \cdot P_{13} + P_{10} = 0$$

$$C_1 \cdot P_{21} + C_2 \cdot P_{22} + C_3 \cdot P_{23} + P_{20} = 0$$

$$C_1 \cdot P_{31} + C_2 \cdot P_{32} + C_3 \cdot P_{33} + P_{30} = 0$$

$$C_1 \cdot (3.064) + C_2 \cdot (3.295) + C_3 \cdot (2.311) = 1.043$$

$$C_1 \cdot (-5.023) + C_2 \cdot (-10.059) + C_3 \cdot (-6.566) = -3.322$$

$$C_1 \cdot (5.918) + C_2 \cdot (11.529) + C_3 \cdot (9.509) = 4.559$$

$$C_1 = -7.53 \times 10^{-2}$$

$$C_2 = 0.1166$$

$$C_3 = 0.385$$

Enlemsel Plak Eğilme Momentleri

$$M_1 = -0.021 - 0.161 + C_1 \cdot (0.837) + C_2 \cdot (0.988) + C_3 \cdot (0.628) = 0.112 \text{ tm/m}$$

$$M_2 = -0.349 + 2.601 + C_1 \cdot (-4.632) + C_2 \cdot (-7.743) + C_3 \cdot (-5.496) \\ = -0.413 \text{ tm/m}$$

$$M_3 = -0.275 - 4.237 + C_1 \cdot (4.245) + C_2 \cdot (9.551) + C_3 \cdot (7.268) = -0.920 \text{ tm/m}$$

Boylamsal Plak Gerilmeleri

$$\sigma_0 = 104.894 + C_1 \cdot (146.5) + C_2 \cdot (23.3) + C_3 \cdot (3.2) = 100.38 \text{ kg/cm}^2$$

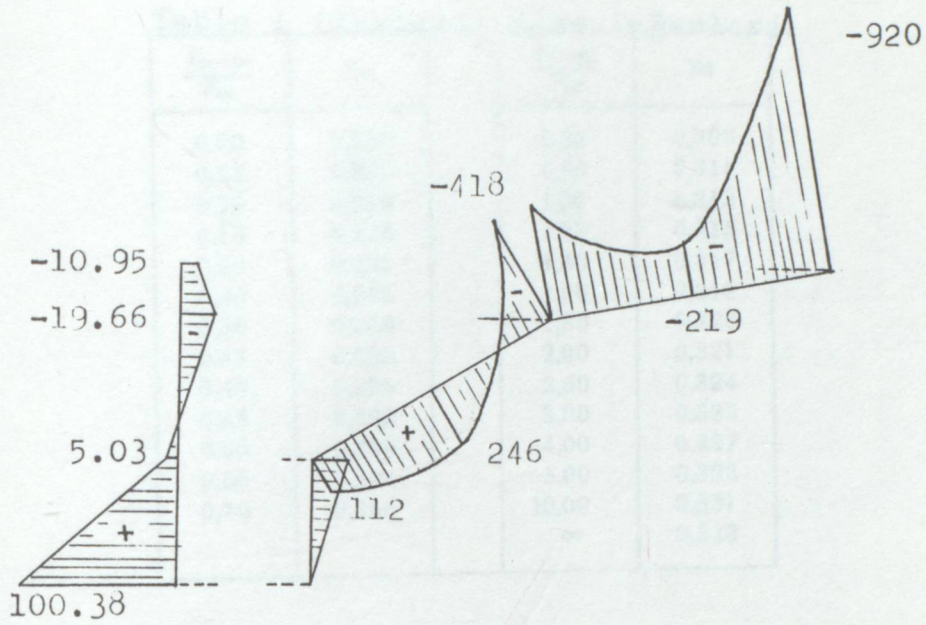
$$\sigma_1 = 13.203 + C_1 \cdot (-63.9) + C_2 \cdot (-57.6) + C_3 \cdot (-16.3) = 5.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = -43.107 + C_1 \cdot (18.3) + C_2 \cdot (68.3) + C_3 \cdot (43.8) = -19.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_3 = 20.362 + C_1 \cdot (-9.1) + C_2 \cdot (-52.9) + C_3 \cdot (-67.1) = -10.95 \text{ kg/cm}^2$$

Gerilme Dağılımı ve Moment Dağılımı Şekil 5.45 ve

Şekil 5.46'da gösterilmiştir.



σ_x Boylamsal Gerilmeler
(kg/cm²)

M_y Enlemsel Momentler
(kgcm/cm)

Şekil 5.45

Şekil 5.46

5.5. TABLOLAR

Tablo 1 (Yardımcı Alan Değerleri)

$\frac{F_{(n-1)l}}{F_{nl}}$	γ_{nl}	$\frac{F_{(n-1)l}}{F_{nl}}$	γ_{nl}
0,00	0,250	0,80	0,309
0,05	0,261	0,90	0,311
0,10	0,269	1,00	0,313
0,15	0,276	1,20	0,315
0,20	0,281	1,40	0,317
0,25	0,286	1,60	0,319
0,30	0,289	1,80	0,320
0,35	0,293	2,00	0,321
0,40	0,295	2,50	0,324
0,45	0,298	3,00	0,325
0,50	0,300	4,00	0,327
0,60	0,304	5,00	0,328
0,70	0,306	10,00	0,331
		∞	0,333

Tablo 2 (Gerilme Nakil Sayıları)

$\frac{F_{(n-1)l}}{F_{nl}}$	λ_{nl}	$\frac{F_{(n-1)l}}{F_{nl}}$	λ_{nl}
0,00	-0,500	0,36	-0,240
0,01	-0,485	0,38	-0,234
0,02	-0,472	0,40	-0,227
0,03	-0,459	0,42	-0,221
0,04	-0,446	0,44	-0,216
0,05	-0,438	0,46	-0,210
0,06	-0,424	0,48	-0,205
0,07	-0,413	0,50	-0,200
0,08	-0,403	0,52	-0,195
0,09	-0,394	0,54	-0,191
0,10	-0,385	0,56	-0,187
0,12	-0,368	0,58	-0,182
0,14	-0,352	0,60	-0,179
0,16	-0,338	0,62	-0,175
0,18	-0,325	0,64	-0,171
0,20	-0,313	0,66	-0,168
0,22	-0,301	0,68	-0,164
0,24	-0,291	0,70	-0,161
0,26	-0,281	0,75	-0,154
0,28	-0,272	0,80	-0,147
0,30	-0,263	0,85	-0,141
0,32	-0,255	0,90	-0,135
0,34	-0,248	0,95	-0,130

Tablo 3a (γ_{nl} -Değerleri)

ω	$\gamma_{11} = \frac{\omega}{4}$	γ_{21}	γ_{31}	γ_{41}	γ_{51} bis $\gamma_{\infty 1}$
0,00	0,000	0,250	0,286	0,288	0,289
0,10	0,025	0,257	0,286	0,288	0,289
0,20	0,050	0,261	0,287	0,289	0,289
0,30	0,075	0,265	0,287	0,289	0,289
0,40	0,100	0,269	0,287	0,289	0,289
0,50	0,125	0,273	0,288	0,289	0,289
0,75	0,188	0,280	0,288	0,289	0,289
1,00	0,250	0,286	0,288	0,289	0,289
1,50	0,375	0,295	0,289	0,289	0,289
2,00	0,500	0,300	0,289	0,289	0,289

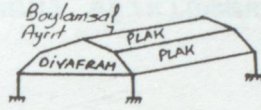
Tablo 3b (λ_{nl} -Değerleri)

ω	λ_{11}	λ_{21}	λ_{31}	λ_{41}	λ_{51} bis $\lambda_{\infty 1}$
0,00	-0,500	-0,500	-0,286	-0,269	-0,268
0,05	-0,500	-0,482	-0,284	-0,269	-0,268
0,10	-0,500	-0,465	-0,283	-0,269	-0,268
0,15	-0,500	-0,449	-0,282	-0,269	-0,268
0,20	-0,500	-0,435	-0,280	-0,269	-0,268
0,25	-0,500	-0,421	-0,279	-0,269	-0,268
0,30	-0,500	-0,408	-0,278	-0,269	-0,268
0,35	-0,500	-0,396	-0,277	-0,269	-0,268
0,40	-0,500	-0,385	-0,277	-0,269	-0,268
0,45	-0,500	-0,374	-0,276	-0,269	-0,268
0,50	-0,500	-0,364	-0,275	-0,268	-0,268
0,60	-0,500	-0,345	-0,274	-0,268	-0,268
0,70	-0,500	-0,328	-0,272	-0,268	-0,268
0,80	-0,500	-0,313	-0,271	-0,268	-0,268
0,90	-0,500	-0,299	-0,270	-0,268	-0,268
1,00	-0,500	-0,286	-0,269	-0,268	-0,268
1,20	-0,500	-0,263	-0,268	-0,268	-0,268
1,40	-0,500	-0,244	-0,266	-0,268	-0,268
1,60	-0,500	-0,227	-0,265	-0,268	-0,268
1,80	-0,500	-0,213	-0,264	-0,268	-0,268
2,00	-0,500	-0,200	-0,263	-0,268	-0,268

6. GENEL RİJİTLİK METODU

6.1 GİRİŞ

Bazı yapılar mecburen bir boyutta olup herbiri nokta ve ayrıtlarla bağlanan bir seri yapı elemanlarından ibarettir. Katlanmış plaklarda böyle yapılardandır. Şekil 6.1



(Şekil 6.1)

Bütün yapılar için rijitlik matrisi benzer karakterdedir. Bant içinde ana diagonal formu boyunca katsayıları sıfırdan farklı gruplanmış olan matrise üçlü diagonal veya bant matrisi denir. Bu çeşit matris invers için son derece iyi bir duruma getirilmiştir. Bundan dolayı bu tip yapıyı analiz etmek için rijitlik metodunu kullanmak mantıksaldır. Geometrik belirsizliklerin derecesi çoğunlukla statik belirsizliklerin derecesinden daha yüksek oluşu yarar sağlar. Burada geometrik ve statik belirsizliklerin dereceleri aynı şekilde bulunur ve rijitlik metodunun kullanılışı belirli bir avantaj sağlar. Rijitlik metodu sınır koşulları belli olan katlanmış plağı analiz etmek için kullanılır.

Bu durum altında genel rijitlik metodu bir yapıyı analiz etmek için aşağıdaki koşullarda uygulanır:

- 1) Bilinen ve bilinmeyen kuvvetler ve deplasmanlar etkisindeki yapı elemanlarının sınırlı sayıda olması gerekir.
- 2) Eğer her bir düğüm nokta ve ayrıtlar s serbestlik derecesine sahipse, bu yapı değişik s deplasmanlara müsaade edecek ve değişik s kuvvetin etkisi altında kalacaktır. Bu etkilerin yarısı bilinmekte ve yarısı bilinmemektedir.

Genel rijitlik metodunun başlangıcı bütün bilinmeyen ayırıt yük ve deplasmanlarının bulunmasıdır.

6.2 AÇIKLIK BOYUNCA YÜK DAĞILIMI

Tatbik edilen yükler ilk olarak Fourier Serisi bileşenleri şeklinde yazılır. Her bir harmoniğe ait analizin haiz olduğu avantaj böyle yüklerin aynı değişimli deplasmanlar meydana getireceği ve nitekim tek karakteristik değer her hangi kuvvet ve deplasmanı açıklamak için kullanılışıdır. Örneğin deplasman:

$$v(x) = r_0 \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (1)$$

Tek r_0 değeri ile açıklanabilir. Bu, bütün ara kesiti tek düğüm noktası olarak düşünmek ve fonksiyonların yerine tek kuvvetle ve deplasmanla işlem yapmayı mümkün kılar. Eğer bir düğüm noktasında statik denge ve geometrik uygunluk korunursa, bunlar otomatik olarak bütün boyuna ara kesitler boyunca sağlanmış olacaktır.

6.3 SERBESTLİK DERECEŚİ

Her ara kesit veya düğüm noktası dört serbestlik derecelidir. Bu uç diaframlara paralel bir düzlemde düşey olarak veya yatay olarak hareket edebilir, boyuna doğrultuda ara kesite paralel olarak hareket edebilir ve gene ara kesite paralel bir eksene göre dönebilir.

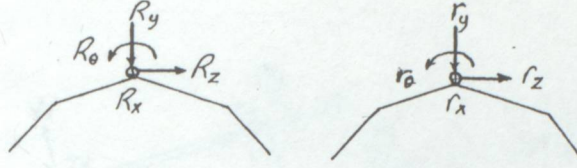
6.4 ELEMEN KUVVET VE DEPLASMANLARI

Her bir münferit plak, yüzeyinde yükler etki eden ve iki boyuna kenarı boyunca deplasmanlar ve kuvvetler bulunan serbest bir cisim olarak alınabilir. Bunun gibi iki kenar vardır, plak 8 serbestlik derecesine sahip olacaktır ve 8 eleman kuvveti, 8 deplasmanı olacaktır.

6.5 KOORDİNAT SİSTEMLERİ

Kuvvet ve deplasmanlar müsterek bir koordinat sisteminde

ifade edilmektedir(Şekil 6.2).



(Şekil 6.2)

Bunlar şu şekilde belirlenebilir:

Yatay yükler veya deplasmanlar (Soldan sağa pozitif)

Düşey yükler veya deplasmanlar (Aşağıya pozitif)

Boyuna kuvvet veya deplasmanlar (Önden arkaya pozitif)

Sırt momenti veya dönme (Saat akrebi tersi yönünde pozitif)

Uç diaframına paralel,yüzey içinde yatay ve düşey kuvvet ve deplasmanlar meydana gelir.Çubuk koordinat sistemindeki kuvvetler ve deplasmanlar şöyle belirlenir(Şekil 6.3):

1) T veya S_x plak kenarı boyunca birim uzunlukta kayma kuvvetleri(kesitin önünden arkasına doğru pozitif)

u veya δ_x plak kenarı boyunca boyuna deplasman(kesitin önünden arkasına doğru pozitif)

2) P veya S_y plak düzleminde birim uzunluktaki kuvvet (plakta çekme meydana getirdiğinde pozitif)

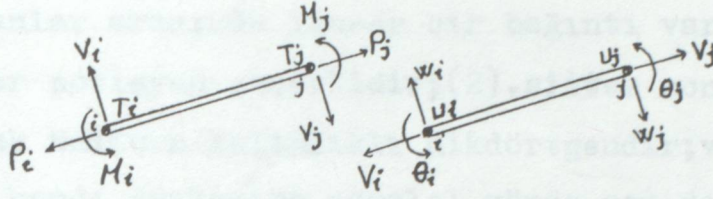
v veya δ_y plak düzleminde kenara dik deplasman(yukarıdaki kuvvet doğrultusunda pozitif)

3) V veya S_z plak düzlemine dik birim uzunluktaki kuvvet (saat ibresi yönünde dönme meydana getiren kuvvet pozitif sayılır).

w veya δ_z plak düzlemine dik deplasman (ilgili kuvvet doğrultusunda pozitif)

4) M veya S_θ boyuna kenar eksenine göre eğilme momenti (saat ibresi tersi yönünde pozitif).

θ veya δ_θ boyuna kenara göre dönme(moment doğrultusunda pozitif).



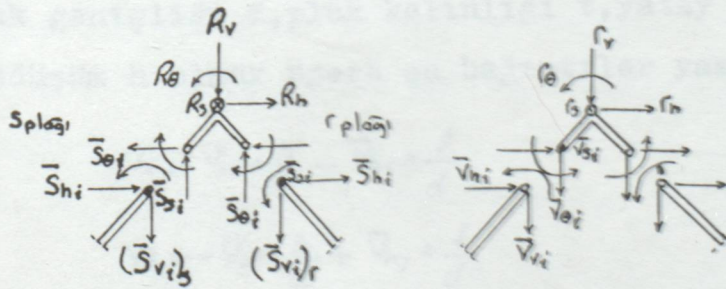
(Şekil 6.3)

Müşterek Koordinat Sistemi:

- 1) $\bar{S}_h$ veya $\bar{S}_z$ yatay kuvvet (soldan sağa doğru pozitif)
 $\bar{v}_h$ veya $\bar{v}_z$ yatay deplasman (soldan sağa doğru pozitif)
- 2) $\bar{S}_v$ veya $\bar{S}_y$ düşey kuvvet (aşağı doğru pozitif)
 $\bar{v}_v$ veya $\bar{v}_y$ düşey deplasman (aşağı doğru pozitif)
- 3) $\bar{S}_s$ veya $\bar{S}_x$ boyuna kuvvet (önden arkaya doğru pozitif)
 $\bar{v}_s$ veya $\bar{v}_x$ boyuna deplasman (önden arkaya pozitif)
- 4) $\bar{S}_\theta$ sırt momenti (saat akrebi tersi yönünde pozitif)
 $\bar{v}_\theta$ dönme (saat akrebi tersi yönünde pozitif)

Düğüm (ayrıt) Kuvvetleri Ve Deplasmanları:

- 1) R_h yatay kuvvet ve r_h yatay deplasman
- 2) R_v düşey kuvvet ve r_v düşey deplasman
- 3) R_s boyuna kuvvet ve r_s boyuna deplasman
- 4) R_θ sırt momenti ve r_θ sırt dönmesi

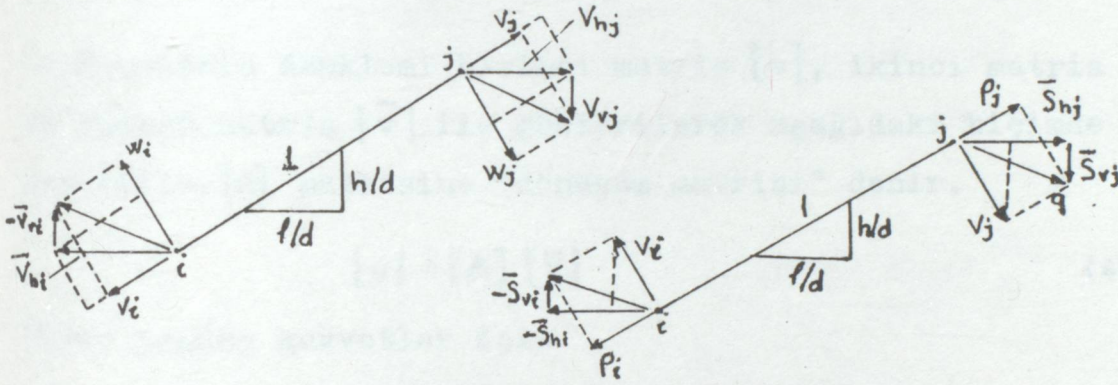


(Şekil 6.4)

6.6 ESAS KABÜLLER

Burada şu kabüller esas alınmıştır:(1).bütün kuvvetler ve deplasmanlar arasında lineer bir bağıntı vardır,dolayısı ile süper pozisyon geçerlidir;(2).sistem monolitikdir;(3).her plak üniform kalınlıklı dikdörtgendir;ve (4).uç diaframlar kendi düzlemine paralel yönde son derece rijit ve kendi düzlemine dik olarak oldukça flexibildir.

6.7 KOORDİNAT SİSTEMLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ



(Şekil 6.5)

Müşterek koordinat sistemi ve çubuk koordinat sistemleri arasındaki aşağıdaki bağıntılar yazılabilir.

$$(\theta_i)_r = (\theta_i)_s = r_{\theta_i} \quad (2)$$

$$(U_i)_r = (U_i)_s = r_s$$

Plak genişliği d, plak kalınlığı t, yatay izdüşüm l, düşey izdüşüm h olmak üzere şu bağıntılar yazılabilir:

$$\begin{aligned} v_i &= \bar{v}_{vi} * \frac{h}{d} - \bar{v}_{hi} * \frac{l}{d} \\ v_j &= -\bar{v}_{vj} * \frac{h}{d} + \bar{v}_{hj} * \frac{l}{d} \\ w_i &= -\bar{v}_{vi} * \frac{l}{d} - \bar{v}_{hi} * \frac{h}{d} \\ w_j &= \bar{v}_{vj} * \frac{l}{d} + \bar{v}_{hj} * \frac{h}{d} \end{aligned} \quad (3)$$

(6 .1)ve(6 .2) denklemleri birleştirilerek aşağıdaki matris denklemleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \\ w_i \\ w_j \\ u_i \\ u_j \\ v_i \\ v_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -h/d & -l/d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h/d & l/d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -l/d & h/d & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & l/d & -h/d & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_{hi} \\ \bar{v}_{vi} \\ \bar{v}_{si} \\ \bar{v}_{\theta i} \\ \bar{v}_{nj} \\ \bar{v}_{vj} \\ \bar{v}_{\theta j} \\ \bar{v}_{\theta j} \end{bmatrix} \quad (4a)$$

Bu matris denklemleri birinci matris $\{v\}$, ikinci matris $[A]$ ve üçüncü matris $\{\bar{v}\}$ ile gösterilerek aşağıdaki biçimde yazılabilir. $[A]$ matrisine "dönüşüm matrisi" denir.

$$\{v\} = [A] \{\bar{v}\} \quad (4b)$$

Diğer yandan kuvvetler için

$$\begin{aligned} \bar{S}_{vi} &= -v_i x \frac{l}{d} + p_i x \frac{h}{d} \\ \bar{S}_{vj} &= v_i x \frac{l}{d} - p_j x \frac{h}{d} \\ \bar{S}_{hi} &= -v_i x \frac{h}{d} - p_i x \frac{l}{d} \\ \bar{S}_{hj} &= v_j x \frac{h}{d} + p_j x \frac{l}{d} \end{aligned} \quad (5)$$

yazılabilir. Bunlar genel olarak yukarıdaki (6.3a) denklemlerine benzer şekilde aşağıdaki matris denklemleri biçiminde yazmak mümkündür.

Burada $[A^T]$, $[A]$ dönüşüm matrisinin transpoz'u dur.

$$\begin{bmatrix} \bar{S}_{hi} \\ \bar{S}_{vi} \\ \bar{S}_{si} \\ \bar{S}_{oi} \\ \bar{S}_{hj} \\ \bar{S}_{vj} \\ \bar{S}_{sj} \\ \bar{S}_{oj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -h/d & 0 & 0 & 0 & -l/d & 0 \\ 0 & 0 & -l/d & 0 & 0 & 0 & h/d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h/d & 0 & 0 & 0 & l/d \\ 0 & 0 & 0 & l/d & 0 & 0 & 0 & -h/d \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_i \\ M_j \\ V_i \\ V_j \\ T_i \\ T_j \\ P_i \\ P_j \end{bmatrix} \quad (6)$$

6.8 KUVVETLER VE DEPLASMANLARIN FOURIER BİLEŞENLERİ

Kuvvetler ve deplasmanlar x doğrultusunda Fourier sinüs serileri ile ifade edilebilirler:

$$V = S_z = \sum S_{nz} \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad P = \sum P_n \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad M = \sum M_n \sin \frac{n\pi x}{L}$$

$$v_y = \sum v_{ny} \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad \theta = \sum \theta_n \sin \frac{n\pi x}{L}, \quad \text{v.s.} \quad (7)$$

Sinüs serileri ile ifade edilen kuvvetler ve deplasmanlar $x=0$ ve $x=L$ de sıfır olacaklardır. Böylece basit mesnet sınır şartları uçlarda sağlanacaktır.

x doğrultusundaki bütün $(\bar{S}_x, R_x, \bar{v}_x, (u), \bar{s}_x$ ve $V_x)$ kuvvetler ve deplasmanlar fourier cosinüs serileri ile ifade edilebilir

$$\begin{aligned} \bar{S}_x = \bar{S}_s = -\sum \bar{S}_{nx} \cos \frac{n\pi x}{L}, \quad S_x = -\sum S_{nx} \cos \frac{n\pi x}{L} \\ \bar{v}_s = \bar{v}_x = \sum \bar{v}_{nx} \cos \frac{n\pi x}{L}, \quad u_x = -\sum u_{nx} \cos \frac{n\pi x}{L} \quad \text{v.s.} \end{aligned} \quad (8)$$

Kuvvetler ve deplasmanlar x doğrultusunda $x=0$ ve $x=L$ de maksimum olacaktır. Eğer n tek ise maksimum kuvvetler ve deplasmanlar ters işaretli olurlar. Örneğin

$$X=0 \text{ da } U_x = -\sum U_{nx} , \quad x=L \text{ de } U_x = \sum U_{nx}$$

Bu deplasmanlar plağın her iki ucunda eşit ve ters olduğunda eğer u_{nx} pozitif ise çekme, negatif ise basınç meydana getirir. Eğer n çift terimler ihtiva ederse x doğrultusunda $x=0$ ve $x=L$ de kuvvetler veya deplasmanlar her iki uçta da aynı işaretli olacaktır. Örneğin

$$x=0 \text{ ve } x=L \quad U_x = -\sum U_{nx}$$

Daha sonraki paragraflarda denklemler sin ve cos serilerinin herbiri için yazılır. $\sin(n \times/L)$ ve $\cos(n \times/L)$ son olarak bütün denklemlerden çıkarılacak ve sadelik için denklemlerde sadece katsayılar gözükecektir. Örneğin (6.3b), (6.5b)

$$\{v_n\} = [A] \{\bar{v}_n\} \quad (9)$$

$$\{\bar{S}_n\} = [A^T] \{S_n\} \quad (10)$$

şeklini alır.

6.9 YALNIZ AYRIT YÜKLERİNE MARUZ SİSTEME AIT ÇÖZÜM

1) Ankastre kenar çözüm için bulunan ayrıt ankastrelik kuvvetlerine, verilen dış düğüm kuvvetleri ve eşit ve ters kuvvet takımları ilave edilir. Bu toplam, ayrıtlarda R dış yükü olarak düşünülür.

Müşterek koordinat sisteminde, bir i düğümünde etkiyen R düğüm kuvvetleri iki kısım ihtiva eder.

a) Dıştan tatbik edilen kuvvetler R_i^0

b) i düğümünde birleşen $r_1, r_2, r_3, \dots$ v.s plakların ankastre kenar kuvvetleri reaksiyonlarının toplamı R_i^f

Bu durumda toplam düğüm kuvveti

$$[R_{ni}] = [R_{ni}^0] + [R_{ni}^f] = [R_{ni}^0] - \sum [R_{ni}^f] \quad (11)$$

Eğer r plağı i ayrıtından j ayrıtına doğru uzanırsa müşterek koordinat sistemindeki R_n^f ankastre kenar kuvvetleri çubuk koordinat sistemindeki S_n^f ankastre kenar kuvvetleri ile (6.6) ve (6.7) denklemlerine benzer şekilde aşağıdaki matris ile bağlanır.

$$[R_n^f] = \left[\frac{R_{ni}^f}{R_{nj}^f} \right] = [A_n^T]_r [S_n^f]_r \quad (12)$$

burada

$$[R_n^f]_r = \left[\frac{R_{ni}^f}{R_{nj}^f} \right] = \begin{bmatrix} R_{nzi}^f \\ R_{nvi}^f \\ R_{nxi}^f \\ R_{n\theta i}^f \\ R_{nzzj}^f \\ R_{nvj}^f \\ R_{nxj}^f \\ R_{n\theta j}^f \end{bmatrix}_r \quad [S_n^f]_r = \begin{bmatrix} M_{ni}^f \\ M_{nj}^f \\ S_{ni}^f \\ S_{nj}^f \\ V_{ni}^f \\ V_{nj}^f \\ P_{ni}^f \\ P_{nj}^f \end{bmatrix}_r \quad (13)$$

2) Sistem~~e~~ ait r ayrıt deplasmanları bir standart direkt rijitlik çözümünün aşağıdaki sırasına göre belirlenir.

3) Burada ilk adım, her plak için S eleman kenar kuvvetleri ve v eleman kenar deplasmanları arasında çubuk koordinat sisteme göre bir bağıntı kurarak k eleman rijitlik matrisinin elde edilmesidir.

$$\{S\} = [k]\{v\} \quad (14)$$

4) (6.13) denklemindeki S kenar kuvvetleri ve v kenar deplasmanları müşterek koordinat sisteminde, $\bar{S}$ ve $\bar{v}$ daha önceki paragraflarda görüldüğü gibi bir A deplasman dönüşüm matrisi ve onun transpozu A^T ile çözümlenebilir ((6.3b) ve (6.5b))

5) (6.3b) ve (6.5b) denklemleri (6.13) denkleminde yerine

konularak aşağıdaki neticeler bulunur:

$$[\bar{S}] = [A^T][k][A]\{\bar{v}\} \quad (15a)$$

veya

$$[\bar{S}] = [\bar{k}]\{\bar{v}\} \quad (15b)$$

burada

$$[\bar{k}] = [A^T][k][A] \quad (16)$$

dir. $\bar{k}$ matrisi müşterek koordinat sisteminde 8×8 boyutunda eleman rijitlik matrisidir.

6) (6.14) denklemini aşağıdaki gibi bölümlere ayırabiliriz.

$$\begin{Bmatrix} \bar{S}_i \\ \bar{S}_j \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{k}_{ii} & \bar{k}_{ij} \\ \bar{k}_{ji} & k_{jj} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{v}_i \\ v_j \end{Bmatrix} \quad (17)$$

Burada i ve j plağın iki kenarındaki ayırıt numaralarını gösterir. Yukarıdaki işlem her plak için tekrarlanmalıdır.

7) Herhangi bir ayırıtın statik dengesi ayırıt kuvvetlerinin, özel ayırıt biçimindeki plak kenarları üzerinde etkiyen eleman kuvvetlerinin toplamına eşit olmasını gerektirir. Konuyu daha iyi anlatabilmek için bir i ayırıtında r_1, r_2 gibi iki elemanın birleştiğini kabul edelim. Bu durumda

$$\{R_i\} = \{S_i^1\} + \{S_i^2\} \quad (18)$$

olur. Ayrıca ayırıtın geometrik uygunluğu gereğince ayırıt deplasmanının plak kenar deplasmanına eşit olması gerekir.

$$\{r_i\} = \{\bar{v}_i^1\} = \{\bar{v}_i^2\} \quad (19)$$

8) Tüm sistem için K rijitlik matrisi, şimdi eleman rijitlik matrisleri toplanarak uygun bir şekilde teşkil edilir.

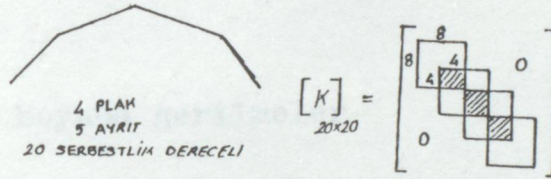
m ayrıt için K matrisinin boyutu $4m \times 4m$ olur. Örneğin (Şekil 6.6) daki sistem için K matrisi 20×20 'lik bir boyuta haiz olur. Genel bir sistem için sembolik biçimde

$$\{R\} = [K] \{r\} \quad (20)$$

olarak yazılabilir.

9) Çubuk koordinat sisteminde r bilinmeyen deplasmana haiz bir sistemde r plak kenar deplasmanları (6.18) ve (6.3b) denklemlerinin kullanılması ile hesaplanabilir.

10) Her plaktaki iç kuvvetler ve deplasmanlar daha önce açıklanan plak kenar deplasmanları ve bu değerlerin bağıntı ifadeleriyle (6.19), (6.20) ve (6.21) denklemlerinden hesaplanabilir.



ŞEKİL 6.6.

$$\{v_n\}_r = \begin{bmatrix} \theta_{ni} \\ \theta_{nj} \\ w_{ni} \\ w_{nj} \\ u_{ni} \\ u_{nj} \\ v_{ni} \\ v_{nj} \end{bmatrix} = [A]_r [r_n]_r = [A]_r \begin{bmatrix} r_{ni} \\ r_{nj} \end{bmatrix} = [A]_r \begin{bmatrix} r_{hni} \\ r_{vni} \\ r_{sni} \\ r_{\theta ni} \\ r_{hnj} \\ r_{vnj} \\ r_{snj} \\ r_{\theta nj} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} M_{ni} \\ M_{nj} \\ V_{ni} \\ V_{nj} \\ T_{ni} \\ T_{nj} \\ P_{ni} \\ P_{nj} \end{bmatrix} = [S_n^f]_r + [S_n]_r = [S_n^f]_r + [k_n]_r [v_n]_r = \begin{bmatrix} M_{ni}^f \\ M_{nj}^f \\ V_{ni}^f \\ V_{nj}^f \\ T_{ni}^f \\ T_{nj}^f \\ P_{ni}^f \\ P_{nj}^f \end{bmatrix} + [k_n]_r \begin{bmatrix} \theta_{ni} \\ \theta_{nj} \\ w_{ni} \\ w_{nj} \\ u_{ni} \\ u_{nj} \\ v_{ni} \\ v_{nj} \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$(\theta_i)_r = \sum_n (\theta_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (23a)$$

$$(w_i)_r = \sum_n (w_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (b)$$

$$(u_i)_r = -\sum_n (u_{ni})_r \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (c)$$

$$(v_i)_r = -\sum_n (v_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (d)$$

$$(M_i)_r = \sum_n (M_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (e)$$

$$(V_i)_r = \sum_n (V_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (f)$$

$$(T_i)_r = -\sum_n (T_{ni})_r \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (g)$$

$$(P_i)_r = \sum_n (P_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (h)$$

r plağındaki boyuna gerilmeler

$$(\sigma_x)_r = (E \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \sigma_{yr}) = E \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n\pi}{L} (u_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} + \frac{\nu}{t} \sum_{n=1}^{\infty} (P_{ni})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (24)$$

bağıntısı ile bulunur.

6.10 ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİNİN TEŞKİLİ-ELASTİK TEORİ

Plak kenar kuvvet ve deplasmanları çubuk koordinat sisteminde gösterilmiştir. Bir elemandaki tesirleri elemanda $(\theta_i, \theta_j, w_i, w_j)$ leri meydana getiren eğilme tesirleri ve yalnız (u_i, u_j, v_i, v_j) deplasmanlarını meydana getiren düzlem gerilme(levha) tesirleri olarak göz önüne alınabilir. Bu iki grup tesirin herbiri için rijitlik matrisi ayrı ayrı teşkil edilerek bir matris halinde gösterilebilir.

Eleman rijitlik matrisi katsayıları Goldberg ve Leve tarafından formüle edilmiştir.

a) Plâğin Basit Eğilmesi Haline (İnce Plak Teorisine) Ait

Matris Denklemi:

$$\begin{bmatrix} M_{ni} \\ M_{nj} \\ V_{ni} \\ V_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{ni} \\ \theta_{nj} \\ w_{ni} \\ w_{nj} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Şeklinde veya sembolik olarak

$$[S_{ns}] = [k_{ns}] \{v_{ns}\} \quad (25b)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$k_{11} = \frac{2\alpha}{d} * \frac{D}{A} (\sinh\alpha \cdot \cosh\alpha - \alpha) = k_{22} \quad (26a)$$

$$k_{12} = \frac{2\alpha}{d} * \frac{D}{A} (\alpha \cosh\alpha - \sinh\alpha) = k_{21} \quad (b)$$

$$k_{13} = \left(\frac{\alpha}{d}\right)^2 D \left[\frac{1}{A} (\sinh^2\alpha + \alpha^2) + \nu \right] = k_{31} = k_{24} = k_{42} \quad (c)$$

$$k_{14} = 2\left(\frac{\alpha}{d}\right)^2 \cdot \frac{D}{A} (\alpha \sinh\alpha) = k_{23} = k_{32} = k_{41} \quad (d)$$

$$k_{33} = 2\left(\frac{\alpha}{d}\right)^3 \frac{D}{A} (\cosh\alpha \cdot \sinh\alpha + \alpha) = k_{44} \quad (e)$$

$$k_{34} = 2\left(\frac{\alpha}{d}\right)^3 \frac{D}{A} (\alpha \cosh\alpha + \sinh\alpha) = k_{43} \quad (f)$$

$$\alpha = \frac{n\pi d}{L} \quad (27a)$$

$$D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\nu^2)} \quad (b)$$

$$A = \sinh^2\alpha - \alpha^2 \quad (c)$$

t = plak kalınlığı

E = Elastisite Modülü

ν = Poisson Oranı

b) Plâğın Düzlem Gerilmesi (Levha Teorisi) Hali İçin Matris

Denklemleri:

$$\begin{bmatrix} T_{ni} \\ T_{nj} \\ P_{ni} \\ P_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} \\ k_{65} & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\ k_{75} & k_{76} & k_{77} & k_{78} \\ k_{85} & k_{86} & k_{87} & k_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{ni} \\ U_{nj} \\ V_{ni} \\ V_{nj} \end{bmatrix} \quad (28a)$$

Olmak üzere veya sembolik olarak

$$[S_{np}] = [k_{np}] \{V_{np}\} \quad (28b)$$

olarak yazılabilir. Burada

$$k_{55} = 2 \cdot \frac{D'}{A'} \left(\frac{\alpha}{d} \right) (\alpha - \lambda \cosh \alpha \sinh \alpha) = k_{66} \quad (29a)$$

$$k_{56} = -2 \frac{D'}{A'} \left(\frac{\alpha}{d} \right) (\alpha \cosh \alpha - \lambda \sinh \alpha) = k_{65} \quad (b)$$

$$k_{57} = -2 D' \left(\frac{\alpha}{d} \right) \left[\frac{1}{A'} (\lambda \sinh^2 \alpha) + \frac{1+\nu}{2} \right] = k_{75} = k_{68} = k_{86} \quad (c)$$

$$k_{58} = -2 \frac{D'}{A'} \left(\frac{\alpha}{d} \right) (\alpha \sinh \alpha) = k_{85} = k_{67} = k_{76} \quad (d)$$

$$k_{77} = -2 \frac{D'}{A'} \left(\frac{\alpha}{d} \right) (\alpha + \lambda \cosh \alpha \sinh \alpha) = k_{88} \quad (e)$$

$$k_{78} = -2 \cdot \frac{D'}{A'} \left(\frac{\alpha}{d} \right) (\alpha \cosh \alpha + \lambda \sinh \alpha) = k_{87} \quad (f)$$

$$\lambda = \frac{3-\nu}{1+\nu} \quad (30a)$$

$$D' = \frac{E \cdot t^3}{(1+\nu)^2} \quad (b)$$

$$A' = \alpha^2 - \lambda^2 \sinh^2 \alpha \quad (c)$$

Bu denklemlerde ν Poisson oranı ve $\alpha=(n\pi D/2L)$ dir.

Çubuk koordinat sisteminde eleman rijitlik matrisi şu şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} M_{ni} \\ M_{nj} \\ V_{ni} \\ V_{nj} \\ T_{ni} \\ T_{nj} \\ P_{ni} \\ P_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{65} & k_{66} & k_{67} & k_{68} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{75} & k_{76} & k_{77} & k_{78} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{85} & k_{86} & k_{87} & k_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{ni} \\ \theta_{nj} \\ w_{ni} \\ w_{nj} \\ u_{ni} \\ u_{nj} \\ v_{ni} \\ v_{nj} \end{bmatrix} \quad (31)$$

6.11 ANKASTRE KENAR KUVVETLERİ

Bir r plağında doğrultusu i düğümünden j düğümüne doğru uzandığında ankastre kenar kuvvetler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$M_i^f = \sum_{n=1} M_{ni}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (32a)$$

$$M_j^f = \sum_{n=1} M_{nj}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (b)$$

$$V_i^f = \sum_{n=1} V_{ni}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (c)$$

$$V_j^f = \sum_{n=1} V_{nj}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (d)$$

$$T_i^f = \sum_{n=1} T_{ni}^f \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (e)$$

$$T_j^f = \sum_{n=1} T_{nj}^f \cos \frac{n\pi x}{L} \quad (f)$$

$$P_i^f = \sum_{n=1} P_{ni}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (g)$$

$$P_j^f = \sum_{n=1} P_{nj}^f \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (h)$$

Bu değerler toplam olarak S_n^f şeklinde gösterilebilir.

Üniform Yük Tesirinde Meydana Gelen Ankastre Kenar Kuvvetleri

Plağa dik ve bir birim alana etkiyen q üniform yükü için $[S_n^f]$ 'in değerleri:

$$M_{ni}^f = \frac{4q}{L} \left(\frac{d}{\alpha}\right)^3 \left[\frac{\sinh\alpha - \alpha}{\sinh\alpha + \alpha} \right] \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) = -M_n^f \quad (33a)$$

$$V_{ni}^f = \frac{8q}{L} \left(\frac{d}{\alpha}\right)^2 \left[\frac{\cosh\alpha - 1}{\sinh\alpha + \alpha} \right] \sin^2\left(\frac{n\pi}{2}\right) = -V_{nj}^f \quad (b)$$

$$T_{ni}^f = T_{nj}^f = P_{ni}^f = P_{nj}^f = 0 \quad (c)$$

ile verilir.(Şekil 6.7)

Bir Münferit Yük Tesirinde Meydana gelen Ankastre Kenar

Kuvvetleri(Şekil 6.7):

$x=x_1$, $y=y_1$ de plağa dik olarak tatbik edilen münferit bir P yüküne ait $[S_n^f]$ 'in değeri:

$$M_{ni}^f = \frac{2P}{n\pi A} \sin \frac{n\pi x_1}{L} (\eta_1 \sinh\alpha \sinh\eta_2 - \alpha \eta_2 \sinh\eta_1) \quad (34a)$$

$$M_{nj}^f = -\frac{2P}{n\pi A} \sin \frac{n\pi x_1}{L} (\eta_2 \sinh\alpha \sinh\eta_1 - \alpha \eta_1 \sinh\eta_2) \quad (b)$$

$$V_{ni}^f = \frac{2P}{L.A} \sin \frac{n\pi x_1}{L} (U \sinh\alpha - \alpha U') \quad (c)$$

$$V_{nj}^f = -\frac{2P}{L.A} \sin \frac{n\pi x_1}{L} (U' \sinh\alpha - \alpha U) \quad (d)$$

$$T_{ni}^f = T_{nj}^f = P_{ni}^f = P_{nj}^f = 0 \quad (e)$$

ile verilir.Burada

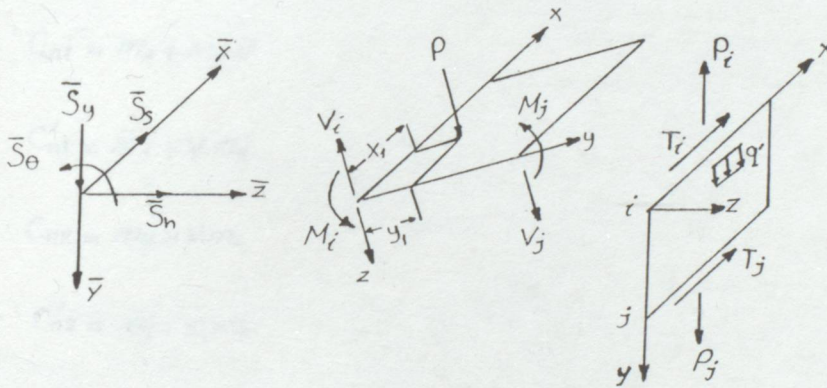
$$\eta_1 = \frac{n\pi y_1}{L} \quad (35a)$$

$$\eta_2 = \frac{n\pi(d-y_1)}{L} = \alpha - \eta_1 \quad (b)$$

$$A = \sinh^2 \alpha - \alpha^2 \quad (c)$$

$$U = \sinh \eta_2 + \eta_1 \cosh \eta_2 \quad (d)$$

$$U' = \sinh \eta_1 + \eta_2 \cosh \eta_1 \quad (e)$$



(Şekil 6.7)

6.12 PLAGIN HERHANGİ BİR NOKTASINDAKİ MOMENTLER

Sırayla x ve y doğrultularında bir birim genişlikteki eğilme momentlerini M_x ve M_y ile gösterelim. Bir r plağında herhangi (x, y) noktasındaki M_x ve M_y nin değerleri

$$(M_x)_r = (M_{xc})_r + (M_{xs})_r = \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nxc})_r \sin \frac{n\pi x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nxs})_r \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (36a, b)$$

$$(M_y)_r = (M_{yc})_r + (M_{ys})_r = \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nyc})_r \sin \frac{n\pi x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} (M_{nys})_r \sin \frac{n\pi x}{L}$$

olarak ifade edilir.

Yukarıdaki denklemlerde M_{xc} ve M_{yc} süreklilikten meydana gelen momentler ve M_{xs} ve M_{ys} kenarları boyunca basit mesnetli plağa ait momentlerdir. M_{nxc} ve M_{nyc} nin değerleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir.

$$(M_{nxc})_r = (-C_{n1} M_{ni} + C'_{n1} M_{nj} - C_{n3} w_{ni} + C'_{n3} w_{nj})_r \quad (37a)$$

$$(M_{nyc})_r = (-C_{n2} M_{ni} + C'_{n2} M_{nj} + C_{n4} w_{ni} - C'_{n4} w_{nj})_r \quad (b)$$

Burada w_{ni}, w_{nj}, M_{ni} ve M_{nj} (6.19) ve (6.20) denklemlerinden hesaplanır, $C_{n1}, \dots, C_{n4}, C'_{n1}, \dots, C'_{n4}$ aşağıdaki formüller ile verilen katsayılardır.

$$C_{n1} = m_x + m_y \nu \quad (38a)$$

$$C'_{n1} = m'_x + \nu m'_y \quad (b)$$

$$C_{n2} = m_y + \nu m_x \quad (c)$$

$$C'_{n2} = m'_y + \nu m'_x \quad (d)$$

$$m_x = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sinh \alpha'}{\sinh \alpha} (\alpha \coth \alpha - \alpha' \coth \alpha') \quad (e)$$

$$m_y = \frac{\sinh \alpha'}{\sinh \alpha} - m_x \quad (f)$$

$$m'_x = \frac{1}{2} \frac{\sinh \alpha}{\sinh \alpha} (\alpha \coth \alpha - \alpha \coth \alpha) \quad (g)$$

$$m'_y = \frac{\sinh \alpha}{\sinh \alpha} - m'_x \quad (h)$$

$$C_{n3} = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \sinh \alpha} \sinh \eta' \left[\frac{2(1+\nu)}{(1-\nu)} + \alpha \coth \alpha - \eta' \coth \eta' \right] \quad (i)$$

$$C'_{n3} = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \sinh \alpha} \sinh \eta \left[\frac{2(1+\nu)}{(1-\nu)} + \alpha \coth \alpha - \eta \coth \eta \right] \quad (j)$$

$$C_{n4} = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \sinh \alpha} \sinh \eta' (\alpha \coth \alpha - \eta' \coth \eta') \quad (k)$$

$$C'_{n4} = D \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \frac{(1-\nu)^2}{2 \sinh \alpha} \sinh \eta (\alpha \coth \alpha - \eta \coth \eta) \quad (l)$$

$$\eta = \frac{n\pi y}{L} \quad (39a)$$

$$\eta' = \frac{n\pi(d-y)}{L} = \alpha - \eta \quad (b)$$

Basit Mesnetli Plaklarda Momentler

Plaka dik üniform yükler için

$$M_{nx} = \frac{4qL^2}{\pi^3 n^3} \left\{ 1 - \left[\frac{\sinh \alpha}{2(\cosh \alpha + 1)} (1-\nu) + 1 \right] \cosh \eta \right. \\ \left. + \left[\frac{-\alpha(1-\nu) + 2 \sinh \alpha}{2(\cosh \alpha + 1)} + \frac{\eta}{2}(1-\nu) \right] \sinh \eta \right\} \quad (40a)$$

$$M_{ny} = \frac{4qL^2}{\pi^3 n^3} \left\{ \nu + \left[\frac{\sinh \alpha}{2(\cosh \alpha + 1)} (1-\nu) - \nu \right] \cosh \eta \right. \\ \left. + \left[\frac{\alpha(1-\nu) + 2\nu \sinh \alpha}{2(\cosh \alpha + 1)} - \frac{\eta}{2}(1-\nu) \right] \sinh \eta \right\} \quad (b)$$

$x=x_1, y=y_1$ de ve plağa dik P münferit yükü için

$$y > y_1$$

$$M_{nxs} = \frac{P \cdot \sinh \eta_1}{\sinh \alpha} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W + \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \sinh \eta' - \eta' \cosh \eta' \right] \sin \xi_1 \quad (41a)$$

$$M_{nys} = \frac{-P \cdot \sinh \eta_1}{\sinh \alpha} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W - \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \sinh \eta' - \eta' \cosh \eta' \right] \sin \xi_1 \quad (b)$$

$$y \leq y_1$$

$$M_{nxs} = \frac{P \cdot \sinh \eta_2}{\sinh \alpha} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W' - \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \sinh \eta - \eta \cosh \eta \right] \sin \xi_1 \quad (c)$$

$$M_{nys} = \frac{-P \cdot \sinh \eta_2}{\sinh \alpha} \left(\frac{1-\nu}{n\pi} \right) \left[\left(W' - \frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \sinh \eta - \eta \cosh \eta \right] \sin \xi_1 \quad (d)$$

Burada

$$\xi_1 = \frac{n\pi x_1}{L} \quad (42a)$$

$$\eta_1 = \frac{n\pi y_1}{L} \quad (b)$$

$$\eta_2 = \frac{n\pi(d-y_1)}{L} = \alpha - \eta_1 \quad (c)$$

$$W = \alpha \coth \alpha - \eta_1 \coth \eta_1 \quad (d)$$

$$W' = \alpha \coth \alpha - \eta_2 \coth \eta_2 \quad (e)$$

Yukarıdaki denklemler, seriler aynı noktaya yaklaştığında münferit yük altındaki noktaya direkt olarak uygulanamaz. $d < x_1 < (L-d)$, $y_1 > 2c$ ve $L > 2d$ için aşağıdaki formüller uygulama noktasında P den meydana gelen M_x ve M_y momentlerini

hesaplamakta kullanılabilir.

$$M_{ys} = \frac{\rho}{4\pi} \left[(1+\nu) 10 g_e \left(\frac{2d \sin \frac{\pi y_1}{d}}{\pi \cdot c} \right) + 1 \right] \quad (43a)$$

$$M_{xs} = M_{ys} - \frac{(1-\nu)}{4\pi} \rho \quad (b)$$

Burada c = münferit P yükünün üniform olarak yayılı kabul edilen dairenin çapı.

(6.43) denklemlerinin hakiki (M_{xs}, M_{ys}) momentlerini verdiğine dikkat edilmelidir. Hâlbuki (6.41) denklemleri sadece (M_{nxs}, M_{nys}) Fourier katsayılarını verir.

7. GENEL RİJİTLİK METODUNA GÖRE HAZIRLANMIŞ BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bu bölümde fortran dilinde yazılmış bir bilgisayar programı sunulmuştur. Program bir ana ve altı alt programdan oluşmaktadır.

7.1 GİRİŞ BİLGİLERİ

- 1) Sistemin geometrisi ve boyutları (plakların, ayritların ve sayısı anlamında).
- 2) Herbir plağa ait boyutlar ve malzeme özellikleri.
- 3) Üniform ve kısmi yüzeysel yüklerin şiddeti ve yeri.
- 4) Boyuna ayritlardaki sınır şartları. Bilinen kuvvetler ve deplasmanların herhangi kombinasyonu kullanılabilir.
- 5) Toplam münferit ayrit yüklerinin şiddeti ve yeri.
- 6) Her ayrit ve plak elemanı üzerindeki ankastrelik şartlarına ait açıklama.

7.2 ÇIKIŞ BİLGİLERİ

- 1) Kontrol için bütün giriş bilgileri özellikle yazılır.
- 2) İstenilen yerlerdeki netice yatay, düşey, dönmesel ve boyuna ayrit deplasmanları verilir.
- 3) Plak uzunluğu boyunca her x absisinde ve plak genişliği ortasındaki bütün iç kuvvetler ve deplasmanlar yazılır.

7.3 SINIRLAMALAR VE GEREKLİ ŞARTLAR

- 1) Maksimum eleman ve ayrit sayısı 150 ve 100' dür.
- 2) Yükleri ifade etmek için uygun Fourier serilerinin 100 sıfır olmayan terimi kullanılabilir.
- 3) Ayrit yükleri istenilen her hangi ayritın üzerinde münferit veya üniform yayılı yüzeysel yükler olabilir.

7.4 ALT PROGRAMLAR

LOADK: Her plak tipine ait rijitlik matrisini hesaplar ve düzleme dik ve düzlemselyükler için ankastre kenar kuvvetlerini bulur.

FIXFO: Üniform ve kısmi yüzeysel yükler için ankastre kenar kuvvetlerini hesaplar ve biraraya getirir.

PINVA: Ayrit deplasmanlarını yazar.

PLAFO: Her elemana ait ara kuvvetler ve deplasmanları hesaplar

SYMIN: Simet rik matrislerin inversini alır.

OPRIN: İstenilen kesitteki plak iç kuvvet ve deplasmanlarını yazar.

7.5 NOTASYONLAR

SPAN : Açıklık boyu

NPL : Plak tipi sayısı, maks. 15

NEL : Eleman sayısı, maks 150

NJT : Ayrit sayısı, maks. 100

NXP : x eksenini boyunca netice istenilen kesit sayısı m. 10

MHARM: maks. Fourier limiti sayısı, NCHEC=0 için maks. 100,
NCHEC=1 veya -1 için maks.200

NCHEC: Tek ve çift harmoniklerin kontrolü

Yalnız tek seriler ile çalışılırsa (sim.) 1

Bütün seriler dahil edilirse 0

Yalnız çift seriler ile çalışılırsa (anti.)-1

H : Plağın yatay izdüşümü

V : Plağın düşey izdüşümü

TH : Plak kalınlığı

E : Elastisite modülü

FNU : poisson oranı

NPI : Elemanın i ayrit no. su

NPJ : Elemanın j ayrit no.su

KPL : Elemanın bulunduğu plak tip no. su
NSEC : Eleman enine yönünde neticesi istenen kesit sayısı
maks. 16, NSEC=0 ise iç kuvvetler ve deplasmanlara
ait neticeler verilmez.
DL : Sabit yük
HL : Üniform yatay yük
VL : Üniform düşey yük
NSURL: Kısmi yüzeysel yüklerin sayısı(I4), maks. 50
LEL : Eleman no. su
SURHL: Yatay yüzeysel yük,
SURVL: düşey yüzeysel yük
SURXI: Yükün yayıldığı uzunluğun ortasının sol mesnete
uzaklığı
SURDE: Yükün x yönünde yayıldığı uzunluk (çizgisel yük için)
AJFOR(1,I): Tatbik edilen yatay ayırıt kuvveti veya deplasmanı
AJFOR(2,I): Tatbik edilen düşey ayırıt kuvvet veya deplasmanı
AJFOR(3,I): Tatbik edilen ayırıt moment veya dönmesi
AJFOR(4,I): Tatbik edilen boyuna ayırıt kuvvet veya deplasmanı
LCASE(1,I): Yatay kuvvet veya deplasman için indeks(0,1,2
veya 3 olabilir)
LCASE(2,I): Düşey kuvvet veya deplasman için indeks(0,1,2
veya 3 olabilir)
LCASE(3,I): Moment veya dönme için indeks(0,1,2 veya 3 olur)
0 verilen sıfır kuvvet için
1 üniform yayılı kuvvet için
2 açıklık ortasındaki münferit yük için
3 verilen sıfır deplasman için
LCASE(4,I): Boyuna kuvvet veya deplasman için indeks
(0,2 veya 3 olabilir)
0 verilen sıfır kuvvet için
2 her uçta P ön gerilme kuvvet için
3 verilen sıfır deplasman için

NCONL: münferit ayrit yükü sayısı, maks. 50

LJT : Ayrit no. su

CONHL: Toplam yatay kuvvet

CONVL: Toplam düşey kuvvet

CONM : Toplam moment

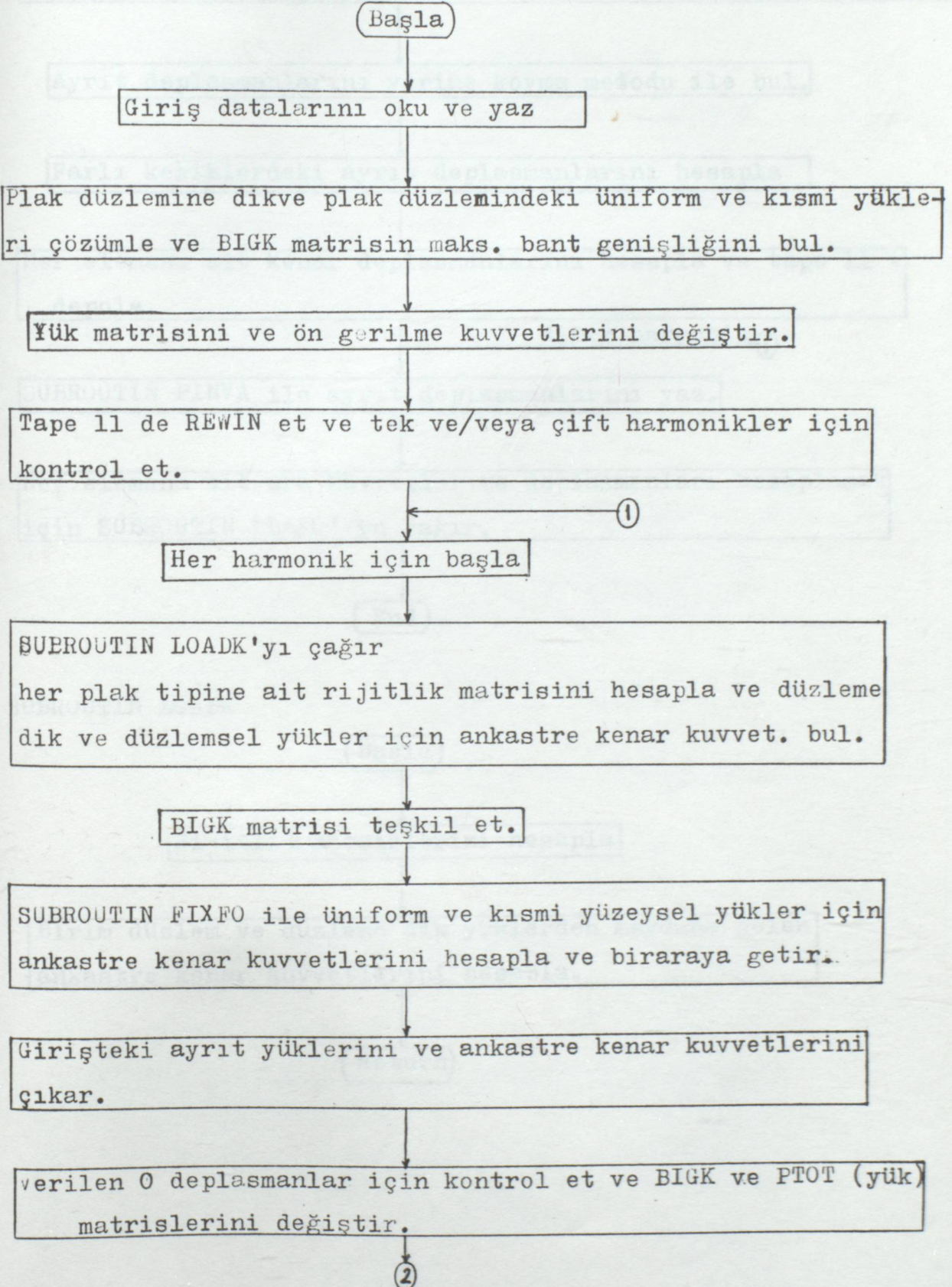
CONS : Toplam boyuna P kuvveti (dikkat:bu aynı ayrit boyunca bir -p ile dengelenmelidir.)

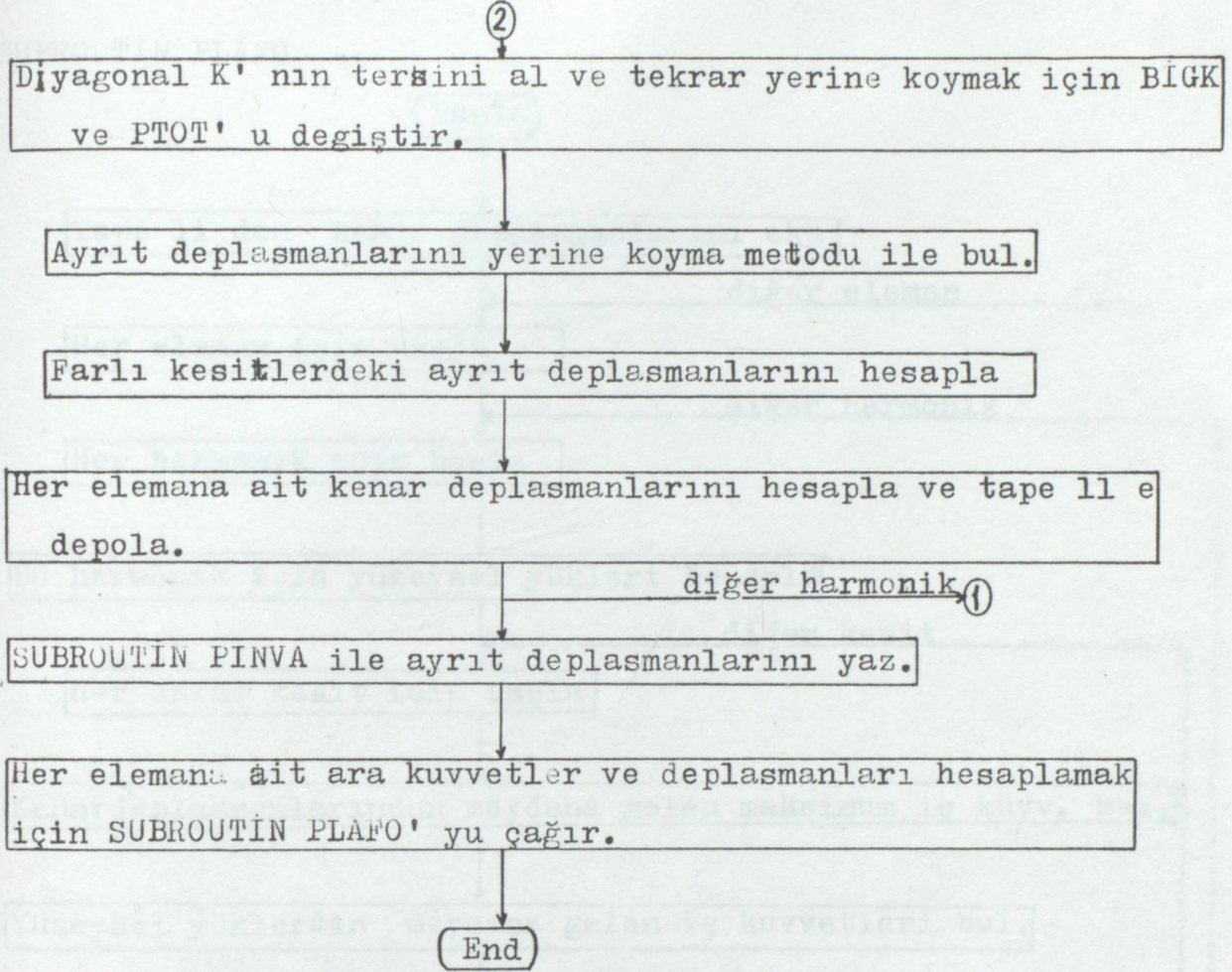
CONXI: Yükün ortasının sol mesnetten uzaklığı

CONDE: Yükün $\times$ yönünde yayılma uzunluğu (münferit yük için 0)

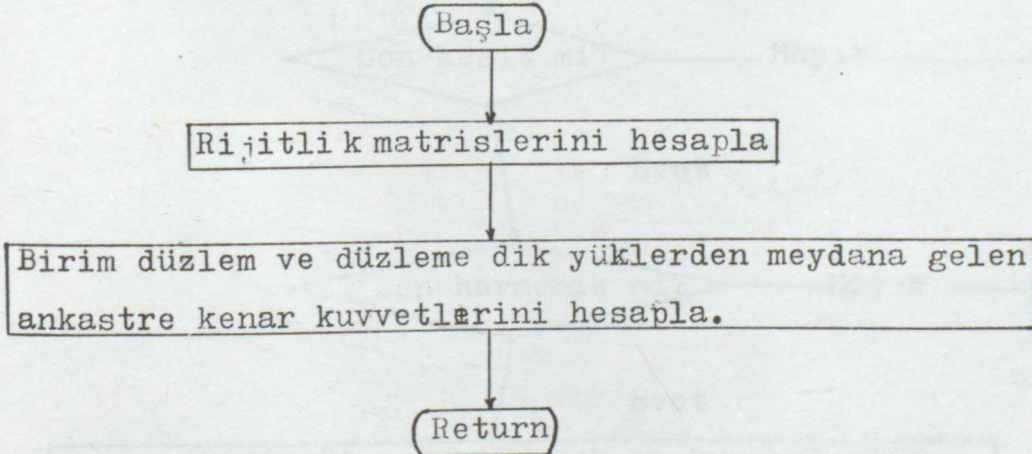
7.6 AKIŞ DİYAGRAMLARI

ANA PROGRAM

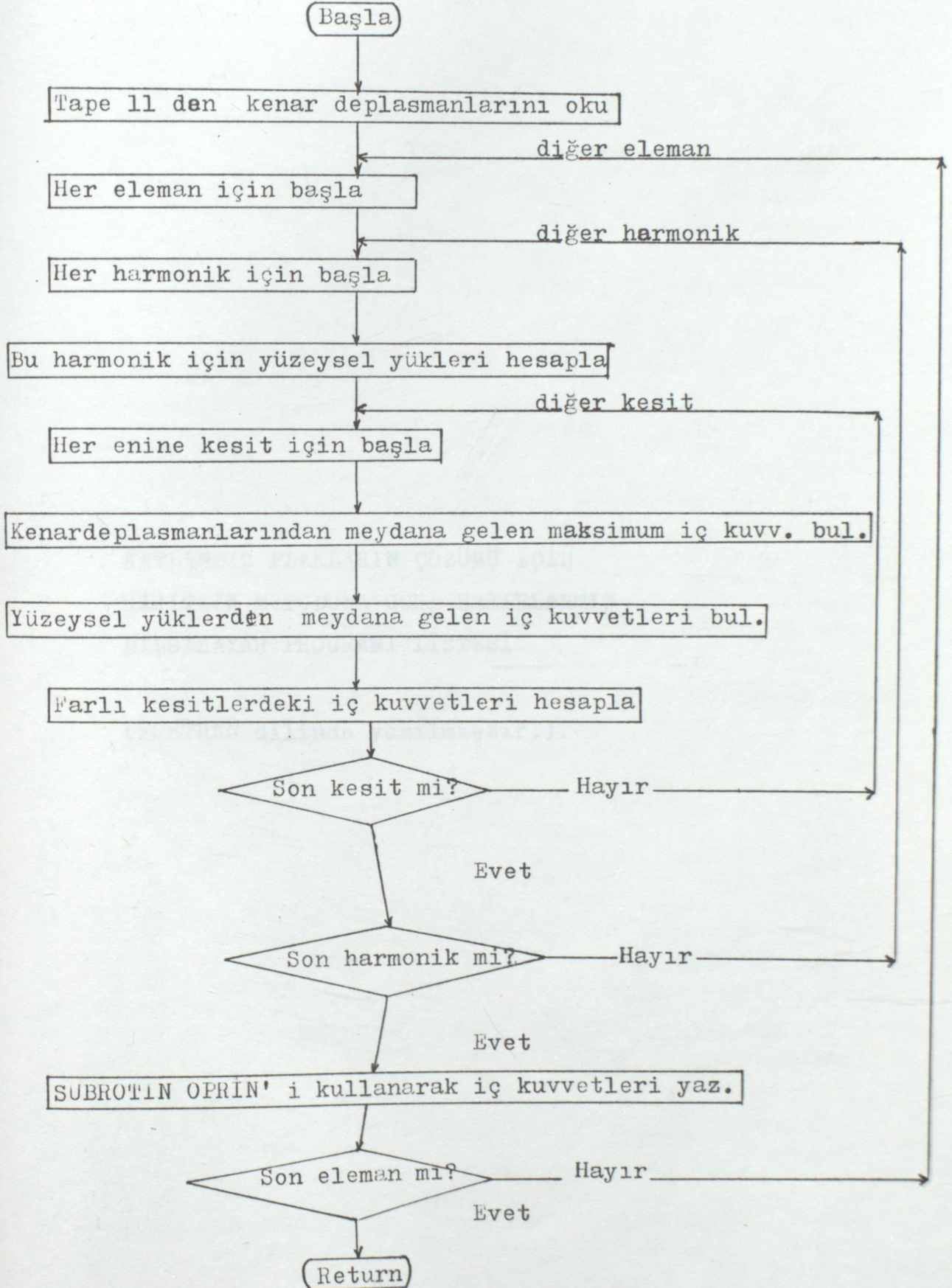




SUBROUTIN LOADK



SUBROUTİN PLAFO




```

DIMENSION AJFOR(4,100),LCASE(4,100),LJT(50),CONHL(50),
* CONVL(50),CONM(50),CONS(50),CONDE(50),RJDIS(400,10),
* BIGK(400,20),SERIE(2),CONXI(50),DL(150)
DIMENSION TITLE(12),NPDIF(150),AJP(400),LIND(400),PTOT(400),
* A(4,4),BTAV(4),DISP(400),RBAR(4),D(20),EDP(1200)
COMMON /BLOCK/XP(10),NPI(150),
* NPJ(150),KPL(150),NSEC(150),HL(150),VL(150),LEL(50),SURHL(50),
* SURVL(50),SURXI(50),SURDE(50),SINKX(100,10),COSKX(100,10),
* MM,PI,SPAN,NEL,NJT,NPL,NXP,NSURL,MHARM,N1,N2,II,IJ,IL
COMMON/BLOCK1/H(15),V(15),SMALL(8,8,15),P(8,15)
COMMON/BLOCK2/PWTH(15),TH(15),E(15),FNU(15)
EQUIVALENCE (DL,NPDIF),(AJFOR,AJP),(LCASE,LIND),(EDP,BIGK),
* (PTOT,SMALL),(DISP,SMALL(1,3,7)),
* (P,A),(P(1,3),BTAV,RBAR),(P(5,3),TITLE),(P(1,5),D)
OPEN (UNIT=11,FILE='AYRDEP',STATUS='NEW')
6  FORMAT (I6,4E16.6)
8  FORMAT (I10,4F10.0)
9  FORMAT (10X,4F10.0,F10.3)
11 FORMAT (12A3)
12 FORMAT (F10.0,6I4)
13 FORMAT (45HOHESAPLARI ATLANAN BUTUN TEK FOURIER SERILERI)
14 FORMAT (46HOHESAPLARI ATLANAN BUTUN CIFT FOURIER SERILERI)
15 FORMAT (1H1)
16 FORMAT (15HOACIKLIK BOYU =,F8.3/22HOPLAK TIPLERI SAYISI =,I2/
*21HOELEMANLARIN SAYISI =,I3/20HOAYRITLARIN SAYISI =,I3/51HOX-EKS
*I BOYUNCA NETICESI ISTENEN ENKESIT SAYISI =,I2/27HOMAKSIMUM HARM
*IK SAYISI =,I3)
17 FORMAT (F7.1)
18 FORMAT (////45HOX-EKSENI BOYUNCA NETICESI ISTENEN ENKESITLER/10F1
*.3)
19 FORMAT (I10,6F10.0)
20 FORMAT (4X,4I4,3F10.4)
21 FORMAT (93H1PL TIP H-IZD. V--IZDU.
* KALINLIK E V)
22 FORMAT (I5,4E20.8,F10.3)
23 FORMAT (66H1 ELE I J PL NSEC DL UNIF HL
* UNIF VL)
24 FORMAT (5I6,3F12.4)
25 FORMAT ('35H1KISMI YUZEYSEL YUKLERIN SAYISI =',I3//70H ELE
* H-YUK V-YUK YUK YERI YUK GENIS. ')
26 FORMAT (I6,6E16.6)
27 FORMAT (10X,4F10.0,4I2)
28 FORMAT (38H1AYRITLARDI GIRIS YUK VE DEPLASMANLARI//88H AYRIT
* YATAY IH DUSEY IV DONME IM BOYUNA
*DOGRUL. IS)
29 FORMAT (I6,4(E17.6,I3))
30 FORMAT (//45HOVERILEN SIFIR DEPLASMAN ICIN IH,IV,IM,IS = 0/45HOUNI
*FORM YAYILI YUK ICIN = 1/38HOACIKLIK ORTASINDAKI
*MUNFERIT YUK ICIN/45HOIH,IV,IM VE ONGERILME KUVVET ICIN IS = 2
*/45HOVERILEN SIFIR DEPLASMANLAR ICIN = 3)
31 FORMAT (29H1MUNFERIT AYRIT YUKU SAYISI =,I3//113H AYRIT H-YUK
*U V-YUKU MOMENT BOYU. KUVVET YUK YERI

```



```

*      YUK GENISLIGI      )
40  FORMAT(40X,16H1NIIHAI NETICELELER////26HONIIHAI DUGUM DEPLASMANLARI///
*/10X,19H YATAY DEPLASMANLAR)
41  FORMAT (////10X,19H DUSEY DEPLASMANLAR)
42  FORMAT (////10X,10H  DONMELER)
43  FORMAT (////10X,20H BOYUNA DEPLASMANLAR)
C   GIRIS VE CIKIS DATALARI
101  READ (5,11)(TITLE(I),I=1,12)
      READ (5,12) SPAN,NPL,NEL,NJT,NXP,MHARM,NCHEC
      IF (SPAN) 999,999,102
102  WRITE(6,15)
      WRITE(6,11)(TITLE(I),I=1,12)
      WRITE(6,16)SPAN,NPL,NEL,NJT,NXP,MHARM
      IF (NCHEC) 103,105,104
103  WRITE(6,13)
      GO TO 105
104  WRITE(6,14)
105  READ(5,17) (XP(I),I=1,NXP)
      WRITE(6,18) (XP(I),I=1,NXP)
      READ(5,9)(H(I),V(I),TH(I),E(I),FNU(I),I=1,NPL)
      READ(5,20)(NPI(I),NPJ(I),KPL(I),NSEC(I),DL(I),HL(I),VL(I),I=1,NEL)
      WRITE(6,21)
      WRITE(6,22)(I,H(I),V(I),TH(I),E(I),FNU(I),I=1,NPL)
      WRITE(6,23)
      WRITE(6,24)(I,NPI(I),NPJ(I),KPL(I),NSEC(I),DL(I),HL(I),VL(I),I=1,
*NEL)
      READ(5,20) NSURL
      IF (NSURL) 107,107,106
106  READ(5,8)(LEL(I),SURHL(I),SURVL(I),SURXI(I),SURDE(I),I=1,NSURL)
      WRITE(6,25) NSURL
      WRITE(6,6)(LEL(I),SURHL(I),SURVL(I),SURXI(I),SURDE(I),I=1,NSURL)
107  DO 110 I=1,NJT
110  READ(5,27)(AJFOR(J,I),J=1,4),(LCASE(K,I),K=1,4)
      WRITE(6,28)
      DO 111 I=1,NJT
111  WRITE(6,29)I,(AJFOR(J,I),LCASE(J,I),J=1,4)
      WRITE(6,30)
      READ(5,20)NCONL
      IF (NCONL) 109,109,108
108  READ(5,19)(LJT(I),CONHL(I),CONVL(I),CONM(I),CONS(I),CONXI(I),CONDE
*(I),I=1,NCONL)
      WRITE(6,31)NCONL
      WRITE(6,26)(LJT(I),CONHL(I),CONVL(I),CONM(I),CONS(I),CONXI(I),COND
*E(I),I=1,NCONL)
109  CONTINUE
      PI=3.1416
      MX=4*NJT
      DO 121 I=1,MX
      DO 121 J=1,NXP
121  RJDIS(I,J)=0.0
C   PLAK GENISLIGI (PWIH) VE H=H/PWIH, V=V/PWIH HESABI
C
      DO 125 I=1,NPL
      PWIH(I)=SQRT(H(I)**2+V(I)**2)

```



```

      H(I)=H(I)/PWIH(I)
125  V(I)=V(I)/PWIH(I)
C
C      ELEMAN YUZEYSEL YUKLERI (VL=ZL,HL=YL) DEGISIMI VE MAX BAND
C      GENISLIGI KONTROLU
C
      NXBAN=0
      DO 130 I=1,NEL
      J=KPL(I)
      VL(I)=VL(I)*ABS(H(J))+DL(I)
      HL(I)=HL(I)*ABS(V(J))
      ZL=VL(I)*H(J)+HL(I)*V(J)
      YL=VL(I)*V(J)-HL(I)*H(J)
      VL(I)=ZL
      HL(I)=YL
      NPDIF(I)=NPJ(I)-NPI(I)
      K=IABS(NPDIF(I))
      IF (NXBAN-K) 126,127,127
126  NXBAN=K
127  NPI(I)=NPI(I)*4-4
130  NPJ(I)=NPJ(I)*4-4
      MAXJT=NXBAN
      NXBAN=NXBAN*4+4
C
C      KISMI YUZEYSEL YUKLERIN DEGISIMI (VL=ZL,HL=YL)
C
      IF (NSURL) 135,135,132
132  DO 133 I=1,NSURL
      K=LEL(I)
      J=KPL(K)
      SURVL(I)=SURVL(I)*ABS(H(J))
      SURHL(I)=SURHL(I)*ABS(V(J))
      ZL=SURVL(I)*H(J)+SURHL(I)*V(J)
      YL=SURVL(I)*V(J)-SURHL(I)*H(J)
      SURVL(I)=ZL
133  SURHL(I)=YL
C
C      LCASE (LIND) MATRISI VE ON GERILME KUVVETLERI DEGISIMI
C
135  DO 136 I=1,MX
136  LIND(I)=LIND(I)+1
      DO 138 I=1,NJT
      IF (LCASE(4,I)-3) 138,137,138
137  LCASE(4,I)=LCASE(4,I)+2
      AJFOR(4,I)=AJFOR(4,I)*4./SPAN
138  CONTINUE
C
C      BASLANILAN HER HARMONIK ICIN DEVIR YAP
      REWIND 11
C
      IF (NCHEC) 140,141,142
140  N1=2
      GO TO 143
141  N1=1
```



```
N2=1
GO TO 144
142 N1=1
143 N2=2
144 MM=0
DO 700 NN=N1,MHARM,N2
MM=MM+1
DO 145 I=1,MX
DO 145 J=1,NXBAN
145 BIGK(I,J)=0.
C
C ACIKLIK (SPAN) VE K NIN GENELLESTIRILISI
C
FN=NN
FK=FN*PI/SPAN
C
C HARMONIK VE FOURIER CARPANLARININ HESAPLANMASI
C
DO 150 I=1,NXP
XX=FK*XP(I)
SINKX(MM,I)=SIN(XX)
150 COSKX(MM,I)=COS(XX)
N3=(-1)**NN
IF (N3) 152,155,155
152 SERIE(1)=4./(FN*PI)
SERIE(2)=2./SPAN*(-1.)**((NN+3)/2)
C
C SUBROUTINE LOADK ILE HER PLAGIN RIJITLIK MATRISININ HESAPLANMASI
C
155 CALL LOADK (FK,SPAN,15,NPL,N3)
C
C BIGK MATRISININ TESKILI
C
DO 210 L=1,NEL
K=KPL(L)
M=NPI(L)
N=NPJ(L)
DO 201 I=1,4
II=M+I
IJ=N+I
IK=I+4
DO 201 J=1,4
BIGK(II,J)=BIGK(II,J)+SMALL(I,J,K)
201 BIGK(IJ,J)=BIGK(IJ,J)+SMALL(IK,J+4,K)
IF (NPDIF(L)) 205,202,202
202 IK=N-M-4
DO 203 I=1,4
II=M+I
DO 203 J=5,8
IJ=IK+J
203 BIGK(II,IJ)=BIGK(II,IJ)+SMALL(I,J,K)
GO TO 210
205 IK=M-N
N=N-4
```



```
DO 206 I=5,8
  II=N+I
DO 206 J=1,4
  LJ=IK+J
206  BIGK(II,IJ)=BIGK(II,IJ)+SMALL(I,J,K)
210  CONTINUE
C
C  SUBROUTINE FIXFO ILE ELEMAN ANKASTIRE UC KUVVETLERININ HESAPLANMASI
C  VE BIRLESTIRILMESI
C
DO 215 I=1,MX
215  PTOT(I)=0.0
  IF (N3) 211,221,221
211  DO 220 L=1,NEL
    K=KPL(L)
220  CALL FIXFO (H(K),V(K),HL(L),VL(L),NPI(L),NPJ(L),P,15,PTOT,400,K)
C
C  KISMI YUZEYSEL YUKLER ICIN ANKASTIRE UC KUVVETLERININ HESAPLANMASI
C  VE BIRLESTIRILMESI
C
221  IF (NSURL) 231,231,222
222  DO 230 I=1,NSURL
    L=LEL(I)
    K=KPL(L)
C
C  BU HARMONIKLER ICIN ESDEGER UNIF.YUKUN BULUNMASI
C
  IF (SURDE(I)) 223,224,223
223  C=SIN(FK*SURXI(I))*SIN(FK*SURDE(I)/2.)
    GO TO 225
224  C=SIN(FK*SURXI(I))*FK/2.
225  EQH=SURHL(I)*C
    EQV=SURVL(I)*C
230  CALL FIXFO (H(K),V(K),EQH,EQV,NPI(L),NPJ(L),P,15,PTOT,400,K)
231  IF (N3) 232,239,239
232  DO 238 I=1,MX
    K=LIND(I)
    GO TO (233,234,235,238,236),K
233  PTOT(I)=-PTOT(I)
    GO TO 238
234  PTOT(I)=AJP(I)*SERIE(1)-PTOT(I)
    GO TO 238
235  PTOT(I)=AJP(I)*SERIE(2)-PTOT(I)
    GO TO 238
236  PTOT(I)=AJP(I)-PTOT(I)
238  CONTINUE
    GO TO 241
239  DO 240 I=1,MX
240  PTOT(I)=-PTOT(I)
C
C  MUNFERIT AYRIT YUKLERI TOPLAMI
C
241  IF (NCONL) 251,251,242
242  DO 250 I=1,NCONL
```



```

J=LJT(I)*4-4
C=FK*CONXI(I)
IF (CONDE(I)) 244,244,243
243 XX=FK*CONDE(I)/2
EQH=2./(XX*SPAN)*SIN(XX)
EQS=EQH*COS(C)
EQH=EQH*SIN(C)
GO TO 245
244 XX=2./SPAN
EQH=XX*SIN(C)
EQS=XX*COS(C)
245 PTOT(J+1)=PTOT(J+1)+EQH*CONHL(I)
PTOT(J+2)=PTOT(J+2)+EQH*CONVL(I)
PTOT(J+3)=PTOT(J+3)+EQH*CONM(I)
250 PTOT(J+4)=PTOT(J+4)+EQS*CONS(I)
C
C VERILEN DEPLASMANLAR ICIN KONTROL VE BIGK,PTOT MATRISLERI DEGISTI
C RIILMESI
C
251 DO 260 J=1,NJT
DO 260 I=1,4
IF (LCASE(I,J)-4) 260,252,260
252 IL=(J-1)*4+I
DO 253 L=1,NXBAN
253 BIGK(IL,L)=0.0
PTOT(IL)=0.0
K=J-MAXJT
L=MAX0(K,1)
DO 255 M=L,J
N=(J-M)*4+I
II=(M-1)*4
DO 255 IJ=1,4
IK=II+IJ
255 BIGK(IK,N)=0.0
BIGK(IL,I)=1.0
260 CONTINUE
C
C INVERT DIAGONAL K VE MODIFY BIGK AND FOR BACKSUBSTITUTION
C
N=0
300 N=N+1
IL=N*4
L=IL-4
DO 301 I=1,4
K=I+L
DO 301 J=1,4
301 A(I,J)=BIGK(K,J)
CALL SYMIN(A,4,4)
K=NJT-N
IF (K) 400,400,302
302 M=MINO(K,MAXJT)
IK=M*4
DO 305 I=1,4
II=I+L

```



```
DO 305 J=1,4
305  BIGK(II,J)=A(I,J)
    J=0
    DO 340 IM=1,M
    DO 340 IN=1,4
    J=J+1
    IJ=J+4
    DO 320 I=1,4
    C=0.0
    DO 315 K=1,4
    II=K+L
315  C=C+BIGK(II,IJ)*A(K,I)
320  BTAV(I)=C
    K=J+IL
    C=0.0
    DO 330 I=1,4
    II=L+I
330  C=C+BTAV(I)*PTOT(II)
    PTOT(K)=PTOT(K)-C
    IS=0
    IU=IM*4-3
    DO 340 I=IU,IK
    IT=I+4
    IS=IS+1
    C=0.0
    DO 335 II=1,4
    IQ=II+L
335  C=C+BTAV(II)*BIGK(IQ,IT)
    BIGK(K,IS)=BIGK(K,IS)-C
340  CONTINUE
    GO TO 300

C
C  YERINE KOYMA ISLEMINE BASLA VE BILINMEYEN AYRIT DEPLASMANLARI ICIN
C  COZUM YAP
C
C  L=IL-4      SEE AFTET STATEMENT 300
400  DO 401 I=1,4
    J=I+L
401  RBAR(I)=PTOT(J)
    DO 403 I=1,4
    J=I+L
    C=0.0
    DO 402 K=1,4
402  C=C+A(I,K)*RBAR(K)
403  DISP(J)=C
C  N=NJT      FROM STATEMENT 300
410  N=N-1
    IF (N) 500,500,411
411  M=MINO((NJT-N),MAXJT)*4+4
    IN=N*4
    IL=IN-4
    IM=IL+1
    DO 415 I=5,M
    J=I+IL
```



```
415  D(I)=DISP(J)
      DO 420 I=1,4
      II=IL+I
      C=0.0
      DO 418 J=5,M
418  C=C+BIGK(II,J)*D(J)
420  RBAR(I)=PTOT(II)-C
      DO 425 I=IM,IN
      C=0.0
      DO 424 J=1,4
424  C=C+BIGK(I,J)*RBAR(J)
425  DISP(I)=C
      GO TO 410

C
C  FARKLI NOKTALARDAKI AYRIT DEPLASMANLARI HESAPLA VE TOPLA
C
500  DO 510 II=1,NXP
      C=COSKX(MM,II)
      S=SINKX(MM,II)
      DO 510 L=4,MX,4
      I=L-3
      J=L-1
      DO 505 K=I,J
505  RJDIS(K,II)=RJDIS(K,II)+DISP(K)*S
510  RJDIS(L,II)=RJDIS(L,II)+DISP(L)*C

C
C  HER ELEMANA AIT KENAR DEPLASMANINI HESAPLA VE AYRDEP TE DEPOLA
C
      N=0
      DO 600 L=1,NEL
      K=KPL(L)
      I=NPI(L)
      J=NPJ(L)
      C=H(K)
      S=V(K)
      EDP(N+1)=DISP(I+3)
      EDP(N+2)=DISP(J+3)
      EDP(N+3)=+S*DISP(I+1)+C*DISP(I+2)
      EDP(N+4)=+S*DISP(J+1)+C*DISP(J+2)
      EDP(N+5)=-DISP(I+4)
      EDP(N+6)=-DISP(J+4)
      EDP(N+7)=-C*DISP(I+1)+S*DISP(I+2)
      EDP(N+8)=-C*DISP(J+1)+S*DISP(J+2)
C  EDP(3,5,6,8) IN ISARETLERI GOLDBERG IN ISARET KABULUNE GORE
C  DEGISTIRILMISTIR
600  N=N+8
      WRITE(11,*)(EDP(I),I=1,N)
C  WRITE(*,*)'EDP',(EDP(I),I=1,N)
700  CONTINUE
      END FILE 11

C
C  AYRIT DEPLASMANLARINA AIT NETICELERIN YAZILMASI
C
      DO 710 I=1,NJT
```



```

      J=4*I
      LIND(J)=I
      LIND(J-1)=I
      LIND(J-2)=I
710   LIND(J-3)=I
      IF (NXP-7) 720,720,721
720   II=NXP
      IL=1
      GO TO 730
721   II=7
      IJ=NXP
      IL=2
730   WRITE(6,40)
      CALL PINVA (LIND,RJDIS,400,10,XP,MX,II,IJ,IL,1)
      WRITE(6,41)
      CALL PINVA (LIND,RJDIS,400,10,XP,MX,II,IJ,IL,2)
      WRITE(6,42)
      CALL PINVA (LIND,RJDIS,400,10,XP,MX,II,IJ,IL,3)
      WRITE(6,43)
      CALL PINVA (LIND,RJDIS,400,10,XP,MX,II,IJ,IL,4)
      CALL PLAFO
999   STOP
      END

```

C
C

```

SUBROUTINE PLAFO
  DIMENSION EDP(1200),DIS(8,150),CON(13),CKX(10),SKX(10)
  DIMENSION XM(10,17),YM(10,17),XYM(10,17),XQ(10,17),YQ(10,17),
*   XN(10,17),YN(10,17),XYN(10,17),WD(10,17),UD(10,17),VD(10,17),
*   GEX(10,17),A(8,150),CONT(13,100)
  COMMON /BLOCK/XP(10),NPI(150),
*   NPJ(150),KPL(150),NSEC(150),HL(150),VL(150),LEL(50),SURHL(50),
*   SURVL(50),SURXI(50),SURDE(50),SINKX(100,10),COSKX(100,10),
*   MM,PI,SPAN,NEL,NJT,NPL,NXP,NSURL,MHARM,N1,N2,II,IJ,IL
  COMMON/BLOCK2/PWI(15),TH(15),E(15),FNU(15)
  EQUIVALENCE (EDP,DIS,XM),
*   (FKT,CON(1)),(FKC,CON(2)),(SC1,CON(3)),(SC2,CON(4)),(SC3,CON(5)),
*   (FL1,CON(6)),(FL2,CON(7)),(FL3,CON(8)),(FL4,CON(9)),(FL5,CON(10))
*   ,(FL6,CON(11)),(FL7,CON(12)),(FL8,CON(13))
  OPEN (UNIT=11,FILE='AYRDEP',STATUS='OLD')
  NELIN=12000/(MM*8)-1
  NOFPL=0
  NEL2=0

```

C
C
C

```

      FEIL AYRDEP'  TEN KENAR DEPLASMANIARINI OKU
30   NEL1=NEL2+1
      IF (NEL1-NEL) 31,31,100
31   NEL2=AMINO((NEL1+NELIN),NEL)
      NDI=NEL2*8
      REWIND 11
      L=0
      DO 35 I=1,MM
      READ (11,*) (EDP(J),J=1,NDI)

```



```

C      WRITE(*,*)'EDP',(EDP(J),J=1,NDI)
      DO 35 J=NEL1,NEL2
      L=L+1
      DO 35 K=1,8
C      WRITE(*,*)'DIS',DIS(K,J)
      A(K,L)=DIS(K,J)
35     CONTINUE
C      WRITE(*,*)'A',A(K,L)
C
C      HERBIR ELEMEN ICN
C
      NDI=NEL2-NEL1+1
      DO 99 IE=NEL1,NEL2
      FN=NSEC(IE)
      IF (FN) 99,99,38
38     NUMY=NSEC(IE)+1
      IEPL=KPL(IE)
      DO 40 J=1,NUMY
      DO 40 K=1,NXP
      WD(K,J)=0.0
      UD(K,J)=0.0
      VD(K,J)=0.0
      XM(K,J)=0.0
      YM(K,J)=0.0
      XYM(K,J)=0.0
      XQ(K,J)=0.0
      YQ(K,J)=0.0
      XN(K,J)=0.0
      YN(K,J)=0.0
      GEX(K,J)=0.0
40     XYN(K,J)=0.0
      IF (IEPL-NOFPL) 41,45,41
41     U=FNU(IEPL)
      B=1*TH(IEPL)
      T=FNU(IEPL)/TH(IEPL)
      EM=E(IEPL)
      D=E(IEPL)*TH(IEPL)**3/(12.*(1.-U**2))
      D1=D*(1.-U)/2.
      D2=E(IEPL)*TH(IEPL)/(2.*(1.+U))
      U1=2./(1.-U)
      U2=U1*U
      U3=(1.+U)/(1.-U)
      U5=2./(1.+U)
      U4=U5*U
      U6=(1.-U)/(1.+U)
      U7=(3.+U)/(1.+U)
      UV=(3.-U)/(1.+U)
45     DIFY=B/FN
C
C      HER BIR HARMONIK ICIN
C
      N=0
      DO 80 NN=N1,MHARM,N2
      N=N+1

```



```

N3=(-1)**NN
IF (IEPL-NOFPL) 49,47,49
47 DO 48 I=1,13
48 CON(I)=CONT(I,N)
GO TO 51
49 FM=NN
SC1=FM*PI/SPAN
SC2=SC1**2
SC3=SC1**3
G=SC1*B
EG=EXP(-G)
EG2=EG*EG
T1=1.+EG
T2=1.-EG
S=G/2.
FKT=T2/T1
FKC=S/FKT
FKT=S*FKT
S=2.*G*EG
C=1.-EG2
T3=S+C
T4=S-C
FL1=T1/T3
FL2=T2/T4
FL3=T2/T3
FL4=T1/T4
C=C*UV
T3=S+C
T4=S-C
FL5=T1/T4
FL6=T2/T3
FL7=T2/T4
FL8=T1/T3
DO 50 I=1,13
50 CONT(I,N)=CON(I)
51 I=NDI*(N-1)+(IE-NEL1+1)
DISP1=A(1,I)
DISP2=A(2,I)
DISP3=A(3,I)
DISP4=A(4,I)
DISP5=A(5,I)
DISP6=A(6,I)
DISP7=A(7,I)
DISP8=A(8,I)
DO 52 J=1,NXP
CKX(J)=COSKX(N,J)
52 SKX(J)=SINKX(N,J)
C
C BU HARMONIGE AIT ZL,YL I BUL
C
IF (N3) 53,54,54
53 ZLOAD=VL(IE)
YLOAD=HL(IE)
GO TO 55

```



```
54  ZLOAD=0.0
    YLOAD=0.0
55  IF (NSURL) 65,65,56
56  DO 62 I=1,NSURL
    IF (LEL(I)-IE) 62,57,62
57  IF (SURDE(I)) 58,59,58
58  T1=SIN(SC1*SURXI(I))*SIN(SC1*SURDE(I)/2.)
    GO TO 60
59  T1=SIN(SC1*SURXI(I))*SC1/2.
60  ZLOAD=ZLOAD+SURVL(I)*T1
    YLOAD=YLOAD+SURHL(I)*T1
62  CONTINUE
65  TOTLD=ABS(ZLOAD)+ABS(YLOAD)
C
C  HER BIR ENINE KESIT ICIN
C
    D1SC1=D1*SC1
    DSC2=D*SC2
    D1SC2=D1*SC2
    DSC3=D*SC3
    D2SC1=D2*SC1
    DO 80 IY=1,NUMY
    IJK=(IY-1)*(IY-NUMY)
    FI=IY-1
    FI=FI*DIFY
    Y=B/2.-FI
    T1=SC1*FI
    T2=(B-FI)*SC1
    T1=EXP(-T1)
    T2=EXP(-T2)
    SY=T1-T2
    CY=T1+T2
    GY=SC1*Y
    SY1=GY*SY
    CY1=GY*CY
C
C  KENAR DEPLASMANLARIN SEBEP OLDUGU MAX. IC KUVVETLER
C
    T1=FL1*(SY1-FKT*CY)
    T2=FL2*(CY1-FKC*SY)
    FWD=(DISP1*(T1-T2)-DISP2*(T1+T2))/SC1
    T1=FL1*(SY1+(U1-FKT)*CY)
    T2=FL2*(CY1+(U1-FKC)*SY)
    FMY=D1SC1*(DISP1*(-T1+T2)+DISP2*(T1+T2))
    T1=FL1*(SY1-(U2+FKT)*CY)
    T2=FL2*(CY1-(U2+FKC)*SY)
    FMX=D1SC1*(DISP1*(T1-T2)-DISP2*(T1+T2))
    T1=FL1*SY
    T2=FL2*CY
    QY=DSC2*(DISP1*(-T1+T2)+DISP2*(T1+T2))
```


T1=FL1*CY
T2=FL2*SY
QX=DSC2*(DISP1*(-T1+T2)+DISP2*(T1+T2))
T1=FL1*(CY1+(1.-FKT)*SY)
T2=FL2*(SY1+(1.-FKC)*CY)
FMXY=D1SC1*(DISP1*(-T1+T2)+DISP2*(T1+T2))
T1=FL3*(SY1-(1.+FKC)*CY)
T2=FL4*(CY1-(1.+FKT)*SY)
FWD=0.5*((DISP3*(T2-T1)-DISP4*(T1+T2))+FWD)
T1=FL3*(SY1+(U3-FKC)*CY)
T2=FL4*(CY1+(U3-FKT)*SY)
FMY=D1SC2*(DISP3*(T1-T2)+DISP4*(T1+T2))+FMY
T1=FL3*(SY1-(U3+FKC)*CY)
T2=FL4*(CY1-(U3+FKT)*SY)
FMX=D1SC2*(DISP3*(-T1+T2)-DISP4*(T1+T2))+FMX
T1=FL3*SY
T2=FL4*CY
QY=DSC3*(DISP3*(T1-T2)+DISP4*(T1+T2))+QY
T1=FL3*CY
T2=FL4*SY
QX=DSC3*(DISP3*(T1-T2)+DISP4*(T1+T2))+QX
T1=FL3*(CY1-FKC*SY)
T2=FL4*(SY1-FKT*CY)
FMXY=D1SC2*(DISP3*(T1-T2)+DISP4*(T1+T2))+FMXY
T1=FL5*(SY1-FKT*CY)
T2=FL6*(CY1-FKC*SY)
FUD=DISP7*(T1-T2)-DISP8*(T1+T2)
T1=FL5*(CY1-(UV+FKT)*SY)
T2=FL6*(SY1-(UV+FKC)*CY)
FVD=DISP7*(T1-T2)-DISP8*(T1+T2)
T1=FL5*(SY1+(U4-FKT)*CY)
T2=FL6*(CY1+(U4-FKC)*SY)
FNX=DISP7*(-T1+T2)+DISP8*(T1+T2)
T1=FL5*(SY1-(U5+FKT)*CY)
T2=FL6*(CY1-(U5+FKC)*SY)
FNY=DISP7*(T1-T2)-DISP8*(T1+T2)
T1=FL5*(CY1-(U6+FKT)*SY)
T2=FL6*(SY1-(U6+FKC)*CY)
FNXY=DISP7*(T1-T2)-DISP8*(T1+T2)
T1=FL7*(SY1+(UV-FKC)*CY)
T2=FL8*(CY1+(UV-FKT)*SY)
FUD=0.5*((DISP5*(T2-T1)-DISP6*(T1+T2))+FUD)
T1=FL7*(CY1-FKC*SY)
T2=FL8*(SY1-FKT*CY)
FVD=0.5*((DISP5*(T2-T1)-DISP6*(T1+T2))+FVD)
T1=FL7*(SY1+(U7-FKC)*CY)
T2=FL8*(CY1+(U7-FKT)*SY)
FNX=D2SC1*((DISP5*(T1-T2)+DISP6*(T1+T2))+FNX)
T1=FL7*(SY1+(U6-FKC)*CY)
T2=FL8*(CY1+(U6-FKT)*SY)
FNY=D2SC1*((DISP5*(-T1+T2)-DISP6*(T1+T2))+FNY)
T1=FL7*(CY1+(U5-FKC)*SY)
T2=FL8*(SY1+(U5-FKT)*CY)

FNXY=D2SC1*((DISP5*(T2-T1)-DISP6*(T1+T2))+FNXY)
FGEX=SC1*FUD*EM+T*FNY

C
C
C

YUZEYSEL YUKLERDEN MEYDANA GELEN IC KUVVETLER

IF (TOTLD) 68,70,68

68 T1=4.*ZLOAD*(1.-U)/(SC3*SPAN)
T2=FKC

FMY=-T1*(FL3*(SY1+(U3-T2)*CY)-U2*0.5)+FMY

FMX= T1*(FL3*(SY1-(U3+T2)*CY)+U1*0.5)+FMX

FMXY=-T1*FL3*(CY1-T2*SY)+FMXY

T1=-8.*ZLOAD/(SC2*SPAN)

QY=T1*SY*FL3+QY

QX=0.5*T1*(2.*CY*FL3-1.)+QX

T1=8.*YLOAD/(SC2*SPAN)

FNY= T1*FL6*(CY1-(T2+U5)*SY)+FNY

FGEX=FGEX+T1*T*FL6*(CY1-(T2+U5)*SY)

FNX=-T1*FL6*(CY1-(T2+U4)*SY)+FNX

FNXY= 0.5*T1*(2.*FL6*(SY1-(T2+U6)*CY)+1.)+FNXY

IF (IJK) 69,70,69

69 T1=T1/(2.*D2SC1)

FUD=T1*FL6*(CY1-T2*SY)+FUD

FGEX=FGEX+EM*SC1*T1*FL6*(CY1-T2*SY)

FVD=T1*(FL6*(SY1-(U5+T2)*CY)+1.)+FVD

T1=4.*ZLOAD/(DSC3*SC2*SPAN)

FWD=T1*(FL3*(SY1-(1.+T2)*CY)+1.)+FWD

C
C
C

IC KUVVETLERI TOPLA

70 DO 75 I=1,NXP

T1=SKX(I)

T2=CKX(I)

WD(I,IY)=WD(I,IY)+FWD*T1

UD(I,IY)=UD(I,IY)+FUD*T2

VD(I,IY)=VD(I,IY)+FVD*T1

XM(I,IY)=XM(I,IY)+FMX*T1

YM(I,IY)=YM(I,IY)+FMY*T1

XYM(I,IY)=XYM(I,IY)+FMXY*T2

XQ(I,IY)=XQ(I,IY)+QX*T2

YQ(I,IY)=YQ(I,IY)+QY*T1

XN(I,IY)=XN(I,IY)+FNX*T1

YN(I,IY)=YN(I,IY)+FNY*T1

GEX(I,IY)=GEX(I,IY)+FGEX*T1

75 XYN(I,IY)=XYN(I,IY)+FNXY*T2

80 CONTINUE

C
C
C

HER ELMANA AIT IC KUVVETLERI YAZ

10 FORMAT (73H1HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUVVETL
*ER VE DEPLASMANLAR/,I4,3H VE,I3,21H DUGUMLERI ARASINDAKI,I3,13HNO
*LU ELEMAN)

11 FORMAT (////10X,5H M(X))

12 FORMAT (////10X,5H M(Y))

13 FORMAT (////10X,6H M(XY))


```
14  FORMAT (////10X,5H Q(X))
15  FORMAT (////10X,5H Q(Y))
16  FORMAT (////10X,5H N(X))
17  FORMAT (////10X,5H N(Y))
18  FORMAT (////10X,6H N(XY))
19  FORMAT (////10X,2H U)
20  FORMAT (////10X,2H V)
21  FORMAT (////10X,2H W)
22  FORMAT(////10X,15H BOYUNA GERILME)
    I=NPI(IE)/4-1
    J=NPJ(IE)/4-1
    WRITE(6,10)I,J,IE
    WRITE(6,11)
    CALL OPRIN (XM,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,12)
    CALL OPRIN (YM,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,13)
    CALL OPRIN (XYM,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,14)
    CALL OPRIN (XQ,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,15)
    CALL OPRIN (YQ,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,16)
    CALL OPRIN (XN,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,17)
    CALL OPRIN (YN,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,18)
    CALL OPRIN (XYN,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,19)
    CALL OPRIN (UD,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,20)
    CALL OPRIN (VD,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,21)
    CALL OPRIN (WD,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    WRITE(6,22)
    CALL OPRIN (GEX,10,17,XP,NUMY,II,IJ,IL)
    NOFPL=IEPL
99  CONTINUE
    GO TO 30
100 RETURN
    END
C
C
SUBROUTINE LOADK (FK,PL,M,NPL,N3)
  DIMENSION SK(8,8),SKA(8,8)
  COMMON/BLOCK1/H(15),V(15),SMALL(8,8,15),P(8,15)
  COMMON/BLOCK2/PWTH(15),TH(15),E(15),FNU(15)
  WPI=FK
  WPI2=WPI**2
  WPI3=WPI**3
  DO 100 L=1,NPL
    U=FNU(L)
    HD=H(L)
    VD=V(L)
```



```
C
C   HESAP SABITLERININ HESAPLANMASI
C
D1=E(L)*TH(L)**3/(12.*(1.-U**2))
D2=E(L)*TH(L)/((1.+U)**2)*WPI
G=WPI*PWIH(L)
EG=EXP(-G)
EG2=EG*EG
C=1.+EG2
CS=1.-EG2
EG=EG*2.
G=G*EG
CC=EG+C
SS=C-EG
G1=G+CS
G2=G-CS
G3=(3.-U)*CS/(1.+U)
G4=G-G3
G3=G+G3

C
C   DEPLASMAN DONUSUM MATRISI
C
C   DO 516 I=1,8
C   DO 516 J=1,8
C 516  A(I,J)=0.
C   A(1,3)=1.
C   A(2,7)=1.
C   A(3,1)=-VD
C   A(3,2)=-HD
C   A(4,5)=VD
C   A(4,6)=HD
C   A(5,4)=1.
C   A(6,8)=1.
C   A(7,1)=-HD
C   A(7,2)=VD
C   A(8,5)=HD
C   A(8,6)=-VD

C
C   YUKLU TEK PLAGA AIT RIJITLIK MATRISI
C
SK(1,1)=+D1*WPI*(CC/G1-SS/G2)
SK(1,2)=-D1*WPI*(CC/G1+SS/G2)
SK(1,3)=+D1*WPI2*(CS/G1-CS/G2-1.+U)
SK(1,4)=-D1*WPI2*(CS/G1+CS/G2)
SK(2,1)=SK(1,2)
SK(2,2)=SK(1,1)
SK(2,3)=SK(1,4)
SK(2,4)=SK(1,3)
SK(3,1)=SK(1,3)
SK(3,2)=SK(1,4)
SK(3,3)=+D1*WPI3*(SS/G1-CC/G2)
SK(3,4)=-D1*WPI3*(SS/G1+CC/G2)
SK(4,1)=SK(1,4)
SK(4,2)=SK(1,3)
```



```
SK(4,3)=SK(3,4)
SK(4,4)=SK(3,3)
SK(5,5)=+D2*(-SS/G4+CC/G3)
SK(5,6)=-D2*(SS/G4+CC/G3)
SK(5,7)=-D2*(CS/G4-CS/G3+1.+U)
SK(5,8)=-D2*(CS/G4+CS/G3)
SK(6,5)=SK(5,6)
SK(6,6)=SK(5,5)
SK(6,7)=SK(5,8)
SK(6,8)=SK(5,7)
SK(7,5)=SK(5,7)
SK(7,6)=SK(5,8)
SK(7,7)=+D2*(-CC/G4+SS/G3)
SK(7,8)=-D2*(CC/G4+SS/G3)
SK(8,5)=SK(5,8)
SK(8,6)=SK(5,7)
SK(8,7)=SK(7,8)
SK(8,8)=SK(7,7)
```

C
C
C

RIJITLIK MATRISI * DONUSUM MATRISI

```
DO 10 I=1,4
J=I+4
SKA(I,1)=-SK(I,3)*VD
SKA(I,2)=-SK(I,3)*HD
SKA(I,3)=SK(I,1)
SKA(I,4)=0.0
SKA(I,5)=SK(I,4)*VD
SKA(I,6)=SK(I,4)*HD
SKA(I,7)=SK(I,2)
SKA(I,8)=0.0
SKA(J,1)=-SK(J,7)*HD
SKA(J,2)=SK(J,7)*VD
SKA(J,3)=0.0
SKA(J,4)=SK(J,5)
SKA(J,5)=SK(J,8)*HD
SKA(J,6)=-SK(J,8)*VD
SKA(J,7)=0.0
SKA(J,8)=SK(J,6)
```

10

C
C
C

TRANSPOZE DONUSUM MATRISI * RIJITLIK * DONUSUM MATRISI

```
DO 20 I=1,8
SMALL(1,I,L)=-SKA(3,I)*VD-SKA(7,I)*HD
SMALL(2,I,L)=-SKA(3,I)*HD+SKA(7,I)*VD
SMALL(3,I,L)=SKA(1,I)
SMALL(4,I,L)=SKA(5,I)
SMALL(5,I,L)=SKA(4,I)*VD+SKA(8,I)*HD
SMALL(6,I,L)=SKA(4,I)*HD-SKA(8,I)*VD
SMALL(7,I,L)=SKA(2,I)
SMALL(8,I,L)=SKA(6,I)
```

20

C
C
C

ZL-U,YL-U ICIN ANKASTIRE UC KUVVETLERI HESAPLA


```

30  P(1,L)=4. *(2. *CS/G1-1.)/(WPI3*PL)
    P(2,L)=-P(1,L)
    P(3,L)=8. *SS/(G1*WPI2*PL)
    P(4,L)=-P(3,L)
    BB=4.0/((1.+U)*WPI2*PL)
    P(6,L)=BB*(4. *CS/G3-1.-U)
    P(5,L)=-P(6,L)
    P(8,L)=4. *BB*SS/G3
    P(7,L)=-P(8,L)
100  CONTINUE
    RETURN
    END

```

C

C

```

SUBROUTINE FIXFO (HD,VD,YL,ZL,NPI,NPJ,P,M,PTOT,N,K)
DIMENSION P(8,15),PTOT(400)
PTOT(NPI+1)=PTOT(NPI+1)-VD*ZL*P(3,K)-HD*YL*P(7,K)
PTOT(NPI+2)=PTOT(NPI+2)-HD*ZL*P(3,K)+VD*YL*P(7,K)
PTOT(NPI+3)=PTOT(NPI+3)+ZL*P(1,K)
PTOT(NPI+4)=PTOT(NPI+4)+YL*P(5,K)
PTOT(NPJ+1)=PTOT(NPJ+1)+VD*ZL*P(4,K)+HD*YL*P(8,K)
PTOT(NPJ+2)=PTOT(NPJ+2)+HD*ZL*P(4,K)-VD*YL*P(8,K)
PTOT(NPJ+3)=PTOT(NPJ+3)+ZL*P(2,K)
PTOT(NPJ+4)=PTOT(NPJ+4)+YL*P(6,K)
RETURN
END

```

C

C

```

SUBROUTINE OPRIN (A,M,N,X,NY,K1,K2,NCYC)
DIMENSION A(10,17),X(10),N1(2),N2(2)
1  FORMAT (I6,1P7E16.7)
2  FORMAT (6HOKESIT,7(6H   X =,F10.3))
N1(1)=1
N1(2)=8
N2(1)=K1
N2(2)=K2
DO 10 K=1,NCYC
J1=N1(K)
J2=N2(K)
WRITE(6,2)(X(I),I=J1,J2)
DO 10 I=1,NY
10  WRITE(6,1) I,(A(J,I),J=J1,J2)
RETURN
END

```

C

C

```

SUBROUTINE SYMIN (A,NMAX,NSIZE)
DIMENSION A(4,4)
DO 5 N=1,NMAX
5  A(N,1)=A(1,N)
20  DO 160 N=1,NMAX
30  PIVOT=A(N,N)
40  A(N,N)=-1.
50  DO 60 J=1,NMAX

```



```

60  A(N,J)=A(N,J)/PIVOT
80  DO 145 I=1,NMAX
90  IF (N-I) 95,145,95
95  IF (A(I,N)) 100,145,100
100 DO 140 J=I,NMAX
110 IF (N-J) 120,140,120
120 A(I,J)=A(I,J)-A(I,N)*A(N,J)
130 A(J,I)=A(I,J)
140 CONTINUE
145 CONTINUE
150 DO 160 I=1,NMAX
160 A(I,N)=A(N,I)
163 DO 165 I=1,NMAX
164 DO 165 J=1,NMAX
165 A(I,J)=-A(I,J)
250 RETURN
    END

```

C
C

```

SUBROUTINE PINVA (IND,D,M,N,X,MX,K1,K2,NCYC,L)
DIMENSION IND(400),D(400,10),X(10),N1(2),N2(2)
1  FORMAT (I6,(1P7E16.7))
2  FORMAT (6HOAYRIT,7(6H  X =,F10.3))
N1(1)=1
N1(2)=8
N2(1)=K1
N2(2)=K2
DO 10 K=1,NCYC
J1=N1(K)
J2=N2(K)
WRITE(6,2)(X(I),I=J1,J2)
DO 10 I=L,MX,4
10 WRITE(6,1)IND(I),(D(I,J),J=J1,J2)
RETURN
END

```


7.8

'GENERAL STIFNESS METHOD' SAYISAL ORNEK

ACIKLIK BOYU =2135.000

PLAK TIPLERI SAYISI = 6

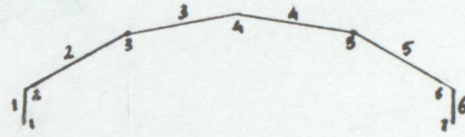
ELEMANLARIN SAYISI = 6

AYRITLARIN SAYISI = 7

X-EKSENI BOYUNCA NETICESI ISTENEN ENKESIT SAYISI = 1

MAKSIMUM HARMONIK SAYISI = 10

X-EKSENI BOYUNCA NETICESI ISTENEN ENKESIT ($X=L/2$)
1067.500



PL	TIP	H-IZD.	V-IZD.	KALINLIK	E	V
1		000	90	15	140000	0.150
2		265	150	10	140000	0.150
3		300	50	10	140000	0.150
4		300	-50	10	140000	0.150
5		265	-150	10	140000	0.150
6		000	-90	15	140000	0.150

ELE	I	J	PL	NSEC	DL	UNIF HL	UNIF VL
1	1	2	1	2	0.0000	0.0000	0.0000
2	2	3	2	2	0.0386	0.0000	0.0000
3	3	4	3	2	0.0386	0.0000	0.0000
4	4	5	4	2	0.0386	0.0000	0.0000
5	5	6	5	2	0.0386	0.0000	0.0000
6	6	7	6	2	0.0000	0.0000	0.0000

AYRITLARDA GIRIS YUK VE DEPLASMANLARI

AYRIT	YATAY	IH	DUSEY	IV	DONME	IM	BOYUNA DOGR.	IS
1	000	0	000	0	000	0	0000	0
2	000	0	000	0	000	0	3.24	3
3	000	0	000	0	000	0	0000	0
4	000	0	000	0	000	0	0000	0
5	000	0	000	0	000	0	0000	0
6	000	0	000	0	000	0	3.24	3
7	000	0	000	0	000	0	0000	0

VERILEN SIFIR DEPLASMAN ICIN IH,IV,IM,IS = 0

UNIFORM YAYILI YUK ICIN = 1

ACIKLIK ORTASINDAKI MUNFERIT YUK ICIN

IH,IV,IM VE ONGERILME KUVVET ICIN IS = 2

VERILEN SIFIR DEPLASMANLAR ICIN = 3

NIHAI NETICELER

NIHAI DUGUM DEPLASMANLARI

YATAY DEPLASMANLAR

AYRIT	X = 1067.500
1	1.2142258E+00
2	9.5550883E-01
3	1.8168807E-01
4	-1.6666455E-03
5	-1.8819904E-01
6	-9.6056056E-01
7	-1.2171974E+00

DUSEY DEPLASMANLAR

AYRIT	X = 1067.500
1	2.3053913E+00
2	2.3083525E+00
3	9.4355351E-01
4	-1.3370800E-01
5	9.6282601E-01
6	2.3252144E+00
7	2.3222361E+00

DONMELER

AYRIT	X = 1067.500
1	2.8714994E-03
2	2.9002884E-03
3	5.7142563E-03
4	-4.1414300E-05
5	-5.7404526E-03
6	-2.8768175E-03
7	-2.8485020E-03

BOYUNA DEPLASMANLAR

AYRIT X = 1067.500
1 -7.3899753E-07
2 0.0000000E+00
3 2.1702914E-07
4 1.6135886E-07
5 2.2057867E-07
6 0.0000000E+00
7 -7.4460763E-07

HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
1 VE 2 DUGUMLERI ARASINDAKI 1 NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 1.1214622E+02
2 1.0009717E+02
3 8.8462433E+01

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -4.4996643E-01
2 2.7838501E+01
3 5.4751709E+01

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 5.8452110E-04
2 5.8075460E-04
3 5.5420445E-04

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 1.0440544E-07
2 3.1975469E-07
3 9.8757846E-07

Q(Y)

KESIT X = 1067.500

1 -3.1886441E-01
2 -3.0682558E-01
3 -2.7952951E-01

N(X)

KESIT X = 1067.500
1 9.0117944E+02
2 4.4866748E+02
3 -6.6351235E-01

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -6.8889797E-02
2 -1.4278755E+00
3 -4.4077597E+00

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 1.6803092E-08
2 -8.8409011E-05
3 -1.1736834E-04

U

KESIT X = 1067.500
1 7.3899662E-07
2 3.6816408E-07
3 8.7864720E-14

V

KESIT X = 1067.500
1 2.3053885E+00
2 2.3075686E+00
3 2.3083496E+00

W

KESIT X = 1067.500
1 1.2141848E+00
2 1.0851917E+00
3 9.5554584E-01

BOYUNA GERILME

KESIT X = 1067.500
1 6.0079941E+01
2 2.9939743E+01
3 4.4084806E-02

HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
2 VE 3 DUGUMLERI ARASINDAKI 2 NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 6.8837189E+01
2 8.2674637E+01
3 -3.0650696E+01

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 5.4337875E+01
2 2.4825746E+02
3 -3.5050928E+02

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 1.6421142E-04
2 2.0233393E-04
3 1.9092376E-04

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 1.0696494E-06
2 -1.9947393E-06
3 1.5139076E-06

Q(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -3.8666162E+00
2 1.4352903E+00
3 6.7658596E+00

N(X)

KESIT X = 1067.500

1 -3.7695909E-01
2 -8.7108582E+01
3 -1.8182585E+02

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -2.5131607E+00
2 -1.8846329E+01
3 -3.2497437E+01

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -2.1584655E-04
2 -2.0250423E-04
3 -1.4657862E-04

U

KESIT X = 1067.500
1 -5.3822144E-14
2 -1.0392080E-07
3 -2.1702897E-07

V

KESIT X = 1067.500
1 3.0555159E-01
2 3.0601412E-01
3 3.0667704E-01

W

KESIT X = 1067.500
1 2.4795208E+00
2 1.8666553E+00
3 9.1064727E-01

BOYUNA GERILME

KESIT X = 1067.500
1 3.7693091E-02
2 -8.1454601E+00
3 -1.7207596E+01

HIER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
3 VE 4 DUGUMLERI ARASINDAKI 3 NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 -2.9476868E+01
2 -1.4507046E+00
3 -1.0800288E+02

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -3.5056787E+02
2 -7.2218369E+01
3 -7.1253711E+02

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 1.9092303E-04
2 1.2954252E-04
3 -1.5706028E-06

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 1.5096321E-06
2 -1.4141870E-06
3 2.5502122E-06

Q(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -4.8141336E+00
2 1.2513294E+00
3 7.3656216E+00

N(X)

KESIT X = 1067.500
1 -1.8186925E+02
2 -1.5149867E+02
3 -1.3738017E+02

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -3.2787079E+01
2 -4.1269882E+01
3 -4.4243454E+01

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -1.4657297E-04
2 -7.5859251E-05
3 -4.4657770E-07

U

KESIT X = 1067.500
1 -2.1702880E-07
2 -1.7958115E-07
3 -1.6135868E-07

V

KESIT X = 1067.500
1 -2.4096873E-02
2 -2.2710942E-02
3 -2.0337462E-02

W

KESIT X = 1067.500
1 9.6059024E-01
2 2.6990193E-01
3 -1.3216972E-01

BOYUNA GERILME

KESIT X = 1067.500
1 -1.7203247E+01
2 -1.3911764E+01
3 -1.2410707E+01

HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
4 VE 5 DUGUMLERI ARASINDAKI 4 NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 -1.0798889E+02
2 -8.0154800E-01
3 -2.8267441E+01

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -7.1253589E+02
2 -6.9987122E+01
3 -3.4588599E+02

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -1.5786309E-06
2 -1.3216797E-04
3 -1.9191892E-04

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 2.5501622E-06
2 -1.4235748E-06
3 1.4904326E-06

Q(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -7.3818674E+00
2 -1.2679911E+00
3 4.7962246E+00

N(X)

KESIT X = 1067.500
1 -1.3737973E+02
2 -1.5286801E+02
3 -1.8474962E+02

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -4.4240372E+01
2 -4.1334030E+01
3 -3.2849365E+01

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -4.4708014E-07
2 7.5352422E-05
3 1.4726691E-04

U

KESIT X = 1067.500
1 -1.6135868E-07
2 -1.8126212E-07
3 -2.2057839E-07

V

KESIT X = 1067.500
1 2.3625400E-02
2 2.5991440E-02
3 2.7350865E-02

W

KESIT X = 1067.500
1 -1.3162190E-01
2 2.8235000E-01
3 9.8067129E-01

BOYUNA GERILME

KESIT X = 1067.500
1 1.2410753E+01
2 1.4046767E+01
3 1.7489410E+01

HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
5 VE 6 DUGUMLERI ARASINDAKI 5NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 -2.9454376E+01
2 8.3489471E+01
3 6.9206970E+01

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -3.4589844E+02
2 2.5024692E+02
3 5.3912140E+01

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -1.9191964E-04
2 -2.0178121E-04
3 -1.6331924E-04

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 1.4949828E-06
2 -2.0038760E-06
3 1.0698468E-06

Q(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -6.7480278E+00
2 -1.4186907E+00
3 3.8828316E+00

N(X)

KESIT X = 1067.500
1 -1.8469002E+02
2 -8.8450623E+01
3 -3.2434380E-01

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -3.2451599E+01
2 -1.8682495E+01
3 -2.1618872E+00

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 1.4726080E-04
2 2.0437686E-04

3 2.1808429E-04

U

KESIT X = 1067.500
1 -2.2057850E-07
2 -1.0561052E-07
3 -5.4562688E-14

V

KESIT X = 1067.500
1 -3.1050444E-01
2 -3.0988610E-01
3 -3.0946165E-01

W

KESIT X = 1067.500
1 9.3062723E-01
2 1.8870993E+00
3 2.4966841E+00

BOYUNA GERILME

KESIT X = 1067.500
1 -1.7495377E+01
2 -8.2845917E+00
3 3.2423940E-02

HER ELEMAN NO.SU ICIN BIR BIRIM UZUNLUKTAKI IC KUV.VE DEP.
6 VE 7 DUGUMLERI ARASINDAKI 6 NO LU ELEMAN

M(X)

KESIT X = 1067.500
1 8.8821960E+01
2 1.0041479E+02
3 1.1242300E+02

M(Y)

KESIT X = 1067.500
1 5.4275818E+01
2 2.7679016E+01

3 -2.8594971E-01

M(XY)

KESIT X = 1067.500
1 -5.5119372E-04
2 -5.7779741E-04
3 -5.8156927E-04

Q(X)

KESIT X = 1067.500
1 9.8791043E-07
2 3.1921718E-07
3 1.0290023E-07

Q(Y)

KESIT X = 1067.500
1 2.7440637E-01
2 3.0121410E-01
3 3.1320632E-01

N(X)

KESIT X = 1067.500
1 -6.5279609E-01
2 4.5206763E+02
3 9.0800317E+02

N(Y)

KESIT X = 1067.500
1 -4.3416090E+00
2 -1.3360834E+00
3 3.3383969E-02

N(XY)

KESIT X = 1067.500
1 1.1851647E-04
2 8.9266934E-05
3 -1.9261993E-08

U

KESIT X = 1067.500

1	8.8590376E-14
2	3.7095572E-07
3	7.4460672E-07

V

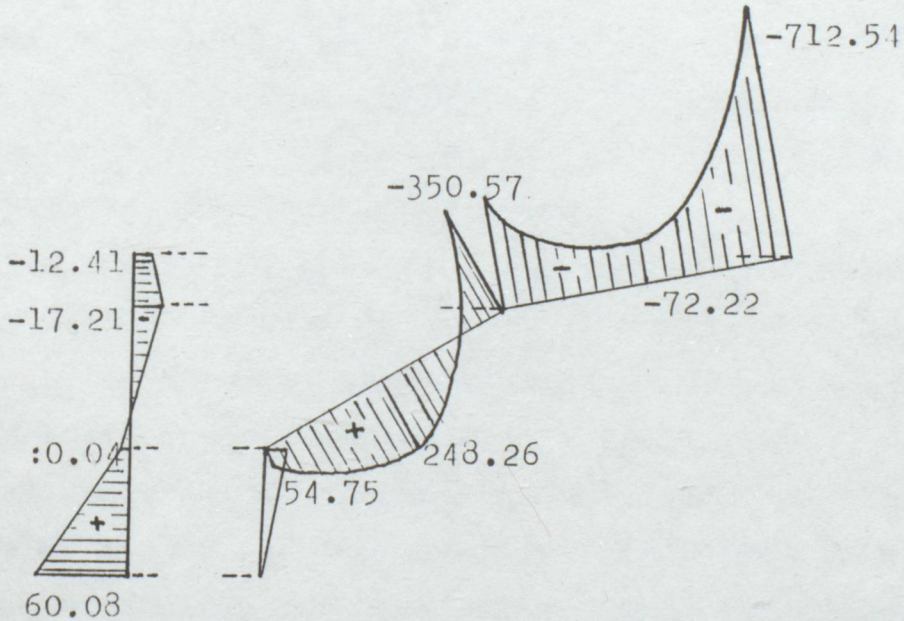
KESIT	X = 1067.500
1	-2.3252115E+00
2	-2.3244286E+00
3	-2.3222332E+00

W

KESIT	X = 1067.500
1	9.6059692E-01
2	1.0891981E+00
3	1.2171564E+00

BOYUNA GERILME

KESIT	X = 1067.500
1	4.3423370E-02
2	3.0164642E+01
3	6.0532669E+01



σ_x Boylamsal Gerilmeler
(kg/cm²)

Şekil 7.1

M_y Enlemsel Momenler
(kgcm/cm)

Şekil 7.2

SONUÇ

Bu çalışmada prizmatik katlanmış plakların analizi için dört ayrı metod sunulmuştur. Bu metodlar sırayla; Yitzhaki ve Girkmanın önerdiği metodlar, Yardımcı Alan Metodu ve Genel Rijitlik Metodu olarak anılmıştır. Metodları daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla tek bir katlanmış plak sistemi örneği üzerinde nümerik çözümler yapılmış ve bölümlerin sonunda enlemsel eğilme momentlerini ve boylamsal gerilmeleri gösteren diyagramlar verilmiştir.

Birinci metotta prizmatik mafsallı katlanmış plaklar için tek boyutlu basitleştirilmiş bir analiz sunulmuştur. Ayrit 1'deki moment haricinde, basitleştirilmiş analiz bir projeye esas teşkil edecek kadar makul değerler vermektedir. Ancak ayrit 1'deki moment değerinin sıfır olmayacağı açıktır.

Yardımcı Alan Metodu adı altında incelenen pratik hesap metodunda da büyük bir yaklaşımla sonuca gidilmiştir. Eğilme ve burulma rijitliklerinin ihmal edilerek, poisson oranının da sıfır kabul edilmesiyle yaklaşık sonuca gidildiği, ayrıca ayrit sayısı arttıkça işlemlerin de artacağı ve doğabilecek sayısal hatalar göz önüne alınmalıdır.

Benzer kabullerin yapıldığı ve Fourier serilerinin kullanıldığı Girkman Metodu, seri açılımına uygun bir tarzda $n=1,3,5,\dots$ 'in büyüyen değerleri için çok çabuk sönümlü olması daha hızlı çözüme gidilmesini sağlamaktadır.

Genel Rijitlik Metodu yukarıda belirtilen metodların en doğru netice verenidir. Yine Fourier serilerinin kullanıldığı bu metotta birleştirilmiş plaklardan oluşan tüm sistemi analiz etmek mümkündür. Bunun için de bilgisayar kullanımı zorunlu kılınmaktadır. Fakat daha süratli çözüm sağlar. Fünü-

müzde her alanda yaygınlaşan Sonlu Elemanlar Metodun'dan, birkaç serbestlik derecesini ihtiva ettiğinde daha az bir depolamayı gerektirir. Bu amaçla çalışmanın sonunda kullanılan bilgisayar programı iki uçundan basit mesnetli tek açıklıklı prizmatik katlanmış plaklar yanında, aynı şartlara sahip sandık kesit gibi bir çok sistemin çözümü için de uygundur.

(Springer-Verlag, Berlin, 1967)

4) KUPFERER H. , Saltwater in Bridges and Structures.
Werner-Verlag, Munich, 1967

5) BOONBOLIS A.O. and others, Direct stiffness method for folded plates, Journal of the Structural Division, Proc. A.S.C.E. , Aug. 1964

6) EKİB İ. , Sandık kesitli köprülerin hesap, yapılar ve bilgisayar uygulamaları (İ.T.Ü.İ.İ.İ. Yayınları No: 1967)

7) TÜRKOĞLU İ. , Analysis of box girder bridges using systematic folded plate theory (İ.T.Ü.İ.İ.İ. Yayınları No: 1967)

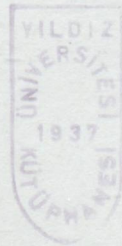
8) BAYRAKTAR Ö. , Matrix Analysis of Folded plates (İ.T.Ü.İ.İ.İ. Yayınları No: 1971)

9) EKİB İ. , Çelik taşıyıcılar elemanlar matrisi ile çözüm (1970)

10) EKİB İ. , Çelik köprülerin hesap ve yapılar ve bilgisayar uygulamaları (İ.T.Ü.İ.İ.İ. Yayınları No: 1971)

KAYNAKLAR

- 1) AKA İ. , KESKİNEL F. , ARDA T. , Betonarme katlanmış plaklar :
İstanbul Teknik Üniversitesi, 1968
- 2) BILLINGTON D.P. , Betonarme kabuk yapılar
Çev: KARATAŞ H. , PULTAR M.
İstanbul Teknik Üniversitesi, 1968
- 3) GİRİKMAN K. , Flächentragwerke.
(Springer-Verlag, Berlin), 1949
- 4) NYFFELER H. , Faltwerke im Hallen und Brückenbau
Werner-Verlag-Düsseldorf, 1967
- 5) SCORDELIS A.C. and SKENE A.D.F. , Direct stiffness solution
for folded plates, Journal of the Structural Division,
Proc. A.S.C.E. , Aug. 1964
- 6) EKİZ İ. , Sandık kesitli köprülerin hesap metotları ve
bilgisayar uygulaması (İ.D.M.M.A. Yeterlilik Tezi) , 1976
- 7) TÜFEKÇİ İ. , Analysis of box girder bridges using
prismatic folded plate theory (O.D.T.Ü. master thesis), 1980
- 8) BAYTEKİN Ö. , Matrix analysis of folded plates
(O.D.T.Ü. master thesis), 1971
- 9) TEZCAN S. , Çubuk sistemlerin elektronik hesap makineleri
ile çözümü, 1970
- 10) BORN J. , Faltwerke. Ihre Theorie und Berechnung.
Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart. 1954



ÖZGEÇMİŞ

Nabi Yüzer, 1968 yılı Sivas doğumlu olup ilk ve orta öğrenimini Sivasta tamamlamıştır.1985 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 1989 yılında mezun olmuştur.Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat-Yapı Bölümü Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.Halen Yıldız Üniversitesi Yapı Malzemeleri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.

