

I.T.Ü. GEMİ İNŞAATI FAKÜLTESİ	
KÜTÜPHANESİ	
KOT	
D. KOT	03999
SERİ	

GEMİ DİP YAPISINDAKİ GERİLMELERİN İNCELENMESİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Ertekin BAYRAKTARKATAL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Haziran 1988

Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Temmuz 1988

Tez Danışmanı : Prof. Mesut SAVCI

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Macit SÜKAN

Y. Doç. Dr. Ömer BELİK

I. T. Ü. GEMİ İNŞ. VE DEN. BİL. FAK. KÜTÜPHANESİ
DEMİRGAS No: 1242
SINIFLAMA No:

Temmuz, 1988

Ö N S Ö Z

Bu konuda çalışmama olanak sağlayan, değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Mesut SAVCI'ya teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca değerli yardımlarından dolayı Sayın Yard. Doç.Dr.Ömer BELİK, Sayın Yük.Müh.A.Cemil DİKİLİ, Sayın Müh. Ali Can TAKİNACI ve eşim Sayın Dr.Seher BAYRAKTAR-KATAL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	-----	ii
İÇİNDEKİLER	-----	iii
ÖZET	-----	iv
SUMMARY	-----	v
BÖLÜM 1 - GİRİŞ	-----	1
BÖLÜM 2 - GEMİ DİP YAPISINDAKİ GERİLMELERİN İNCELENMESİ	-----	2
2.1. GİRİŞ	-----	2
2.2. IZGARA SİSTEM ANALİZİ	-----	3
2.2.1. Birinci Çözüm Yöntemi	----	4
2.2.2. İkinci Çözüm Yöntemi	----	20
2.2.1. Elastik Zemin Üzerin- deki Kiriş	-----	20
2.2.2. İki Eş Diferansiyel Denklemin Çözümü	---	25
BÖLÜM 3 - NÜMERİK ÖRNEKLER	-----	38
BÖLÜM 4 - SONUÇ VE ÖNERİLER	-----	42
KAYNAKLAR	-----	50
ÖZGEÇMİŞ	-----	51

Ö Z E T

Gemi dip yapısını oluşturan elemanlar (Dolu döşekler, omurga ve yan tülaneler) ızgara sistem olarak modellenmiştir. Bu sistem iki ayrı metodla çözülmüş ve Norveç Loydununun kurallarında verilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

İlk olarak enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarındaki taşıma oranları birim yükler için hesap edilerek kirişler ayrı ayrı mütalaa edilip moment ve gerilme dağılımları bulunmuştur. Bunun için her kesişim noktasındaki birim yüklerden dolayı oluşan çökmeler MOHR yöntemi ile bulunup, enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarında birbirlerine eşitlenilerek bilinmeyen taşıma oranları cinsinden denklemler oluşturulmuştur. Bu denklemler çözümlenerek bilinmeyen taşıma oranları (kesişim noktalarında) bulunmuştur.

İkinci yöntemde ise enine ve boyuna kirişler kesişim noktalarındaki tepki kuvvetleri, dış yükler cinsinden indis uylasımları ile genelleştirilmiştir. Enine kirişler elastik sürekli bir mesnet üzerinde kabul edilmiş ve yine herhangi bir kesişim noktasındaki çökmeler eşitlenerek bilinmeyenler bulunmuştur. Bunun için kiriş diferansiyel denklemi indis uylasımları ile genelleştirilip Laplace Transform metoduyla çözülmüştür.

AN INVESTIGATION INTO THE STRESSES IN SHIP BOTTOM STRUCTURES

S U M M A R Y

The bottom structure of a ship makes a very significant contribution to the strength of a beam-like ship. The keel, floors and the plating together form the bottom structure. This system may be constructed in one of several ways depending on the structural properties of the ship ; for example, a single bottom as in a tanker, a double bottom as in container ships.

Let us consider a ship constructed in the transverse system with a double bottom. The longitudinal girders with the keel lying along the symmetry axis and the transverse floors extending along the whole breadth of the hull may together be regarded as a 'grillage' structure. In this investigation, the interest is focused on such a bottom structure extending along a part of the length of the ship hull that is bounded at both ends by the transverse bulkheads.

1. The boundary conditions :

When modelling the grillage system, the conditions at the boundaries of the structure have to be selected as close to reality as the analysis permits. This initial stage of the exercise assumes importance as in any investigation into the strength of the beams in ship hulls since they can not be regarded as isolated load carrying members of such a complex structure.

Firstly, the intersections of the longitudinal girders with the transverse bulkheads are considered. Since the longitudinals continue past the bulkheads, the attachment points to the bulkheads are assumed to be built-in ends ; i.e. the linear and rotary displacements of the longitudinals at the end of the grillage are assumed to be zero. If the length of the grillage under investigation is denoted by L , the boundary conditions in terms of the displacement function along the hull $v(x)$ become ;

$$v(0) = 0 = v'(0)$$

$$v(L) = 0 = v'(L)$$

where the prime denotes the derivative with respect to x .

Secondly, an appropriate set of conditions have to be set at the boundaries of the transverse members of the grillage. These are the floors that extend along the whole breadth of the hull and end at points of attachment to the frames at the turn of the bilges or slightly above, depending on the overall height of the double bottom. The rigidity of the frames with respect to that of the floors may with a small margin of error be assumed to be insignificant. Therefore, the floors may be regarded as simply supported at the ends ; i.e. the linear displacement and the bending moment may be set to zero at the ends of the transverse floors. If the width of the grillage is denoted by B , the boundary conditions for the floors become

$$v(0) = 0 = v''(0)$$

$$v(B) = 0 = v''(B)$$

In this investigation, two distinct methods of solution are adopted.

2. The first method of solution :

The load carried by each longitudinal and transverse member of the grillage system may be regarded as a proportion of the total load carried by the system. Provided that one can determine what proportion of the load each member carries, the longitudinal girders and transversal floors can be analysed in isolation and the bending moment and stress distributions can be evaluated. This is the fundamental assumption at the basis of the first method of solution adopted in this investigation.

A secondary assumption is related to the character of the load carried by the whole system and its reduction to the loads carried by individual members. The uniformly distributed load acting on the grillage is assumed to be equivalent to a set of concentrated loads acting on the intersections of the longitudinal girders and the transversal floors. Each concentrated load is calculated as the product of the effective area associated with the intersection and the distributed load given as force per unit area.

The steps of the procedure after the determination of the loading are as follows :

- i) Considering only the longitudinals, a concentrated load of unit magnitude is applied to an intersection. The displacements at all the intersections due to this unit load is calculated. This is repeated for all the intersections that carry the previously determined concentrated loads.
- ii) The first step is repeated for the transversal floors.
- iii) Considering that the deflection at a given intersection has to be equal for both the longitudinal and the transversal member, an equation is obtained as a function of the unknown load carrying proportionality constants.
- iv) A system of equations are set up in which the number of unknowns are equal to the number of equations.

From computational point of view, it is convenient to think of the intersection points within the grillage as a matrix and hence, use indices to that end. For example, a point designated 3.5 indicates the intersection point of the third longitudinal and fifth transversal member of the grillage. The fundamental expression valid at any one intersection is given as

$$P \cdot \alpha + P (1 - \alpha) = P$$

which states that if the proportion of the load P at an intersection carried by the longitudinal is given by α and the transversal carries the remaining proportion $1 - \alpha$. Hence, α is the unknown for which an equation is constructed by equating the deflections of the longitudinal girder and the transversal floor at that intersection.

In constructing these equations, it is found that some of the equations form linearly dependent pairs since the system is symmetrical about both a longitudinal and a transversal axes. Any two intersection points symmetrical about either of these symmetry axes yield a pair of linearly dependent equations. In general, the number of unknowns is equal to the number of intersection points in one quadrant of the grillage, including those points on the longitudinal and transversal symmetry axes. The set of equations in terms of the unknown proportionality constants is in the form

the unknown proportionality constants is in the form

$$\begin{bmatrix} A & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} .$$

After solving the above set of equations for the unknowns , the computational procedure is as follows ;

- i) The longitudinal girders and transversal floors are isolated,
- ii) The concentrated loads acting on the intersections are evaluated as explained previously,
- iii) The concentrated loads are proportioned making use of the corresponding values α and $1 - \alpha$ to determine the loads on the isolated longitudinal girders and transversal floors respectively.
- iv) According to the loading thus obtained, the distribution of the bending moment and corresponding stresses are determined for each longitudinal and transversal member of the grillage.

In this investigation, the deflections at the intersection points are evaluated by Mohr Method, otherwise known as the Moment Area Method.

3. The second method of solution :

A second method of analysis is presented which is based on the solution of girder deflections as obtained from Laplace Transforms of the governing differential equations. The resulting formulation is applicable to any type of loading, including the concentrated loads and it lends itself readily to computer programming. The solution therefore, offers the ability to determine the optimum distribution of material with a minimum amount of labour in a short time.

The purpose of this second method is to present an analysis of the grillage structure based on the elastic foundation approach. However, the differential equations of deflections are solved by means of Laplace Transforms instead of by the use of the conventional solutions. This approach leads to a general formulation valid for all types of loading and is therefore

more versatile than the previous one.

Subscript notation has been used extensively to save space and to attempt to make the problem more tractable. In doing so, the computer programming was kept in mind but even more important is the ability of this form of notation to reveal the significant functional relationship between physical parameters.

BÖLÜM I - GİRİŞ

Gemi dip yapısındaki gerilmelerin incelendiği bu çalışma şu bölümlerden meydana gelmiştir :

1. IZGARA SİSTEM ANALİZİ : İki ayrı yöntemle yapılarak birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1. Birinci Yöntem : Kirişlerin kesişim noktalarında birim yükten dolayı oluşan çökmelerin enine ve boyuna kirişlerde -kesişim noktalarında- birbirine eşitlenerek bilinmeyen sayısı kadar denklem elde edilerek, kesişim noktalarındaki bilinmeyen oranlar bulunur. Bu oranlardan yararlanılarak enine ve boyuna kirişlerde moment ve gerilme dağılımı bulunur.

1.2. İkinci Yöntem : Izgara sistemini oluşturan kirişler indis yaklaşımı ile genel halde ifade edilmişler ve bu ifadelerden yararlanılarak genel haldeki diferansiyel denklemler oluşturulmuştur. Diferansiyel denklemlerin çözümü LAPLACE yöntemi ile yapılarak kirişler üzerindeki moment ve gerilme dağılımı bulunmuştur.

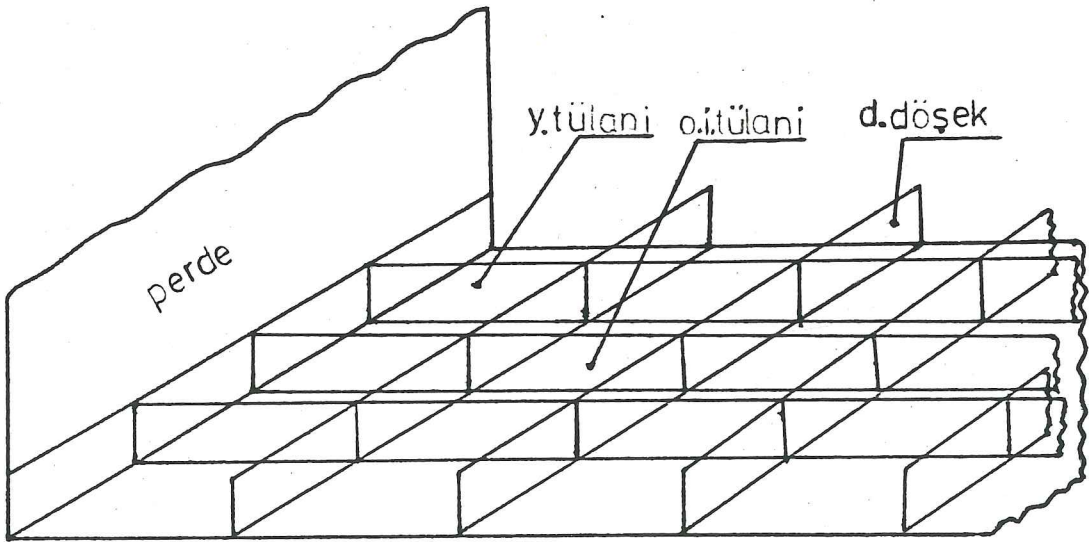
2. Çözüm yöntemlerinin bilgisayar programlarının hazırlanması.
3. Nümerik örnekler ve klaslama kuruluşlarının verdiği değerlerle karşılaştırılması.
4. Sonuç.

BÖLÜM 2 - GEMİ DİP YAPISINDAKİ GERİLMELERİN İNCELENMESİ

2.1. GİRİŞ

Bir kiriş gibi modellenen geminin, mukavemetini sağlayan önemli bölümlerden birisi de gemi dibidir. Dip yapıyı oluşturan elemanlar, omurgalar, döşekler ve bunları kaplayan levhalardır. Gemi dip yapısı geminin özelliklerine göre farklı tiplerde olurlar. Tek dipli, çift dipli vs.

Enine sistemde yapılmış ve çift dipli bir geminin (Şekil 1.1) dip yapısı incelendiğinde, ortada gemi boyunca uzanan omurga ve yan tülaneler, enine bordadan bordaya uzanan dolu döşekler ızgara sistem olarak düşünülebilir. İncelenecek ızgara sistemi iki perde arasında boyuna omurga ve yan tülanelerden enine olarak döşeklerden meydana gelecektir.



Şekil 1.1. Gemi Dip Yapısı.

2.2. IZGARA SİSTEM ANALİZİ :

Izgara sistem üzerinde bir modelleme yaparken en önce düşünmemiz gereken konu sınır şartlarıdır. Hangi sınır şartlarını almak en doğru sonucu getirecektir, Gerçekte gemi kirişleri mukavemeti için en önemli konu budur.

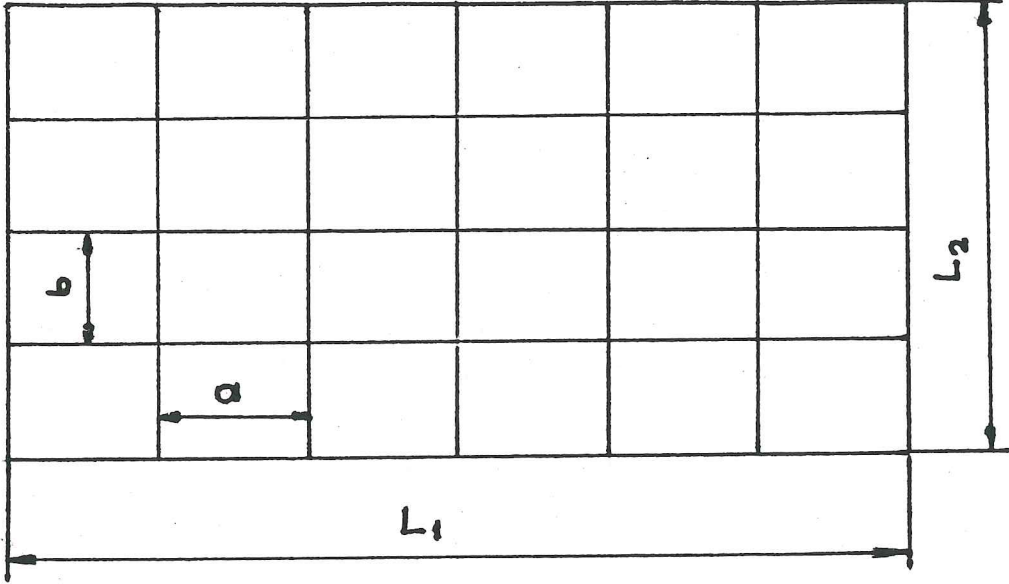
Boyuna elemanlar perdelerden sonra devam ettiği için sınır şartları olarak, uç noktaların ankastre mesnet olarak seçilmesi gerçeğe en yakın kabul olmaktadır. Yani bu noktalarda çökme ve dönme olmadığı kabul edilmektedir.

$$\begin{aligned} V'(0) &= V(0) = 0 \\ V'(L_1) &= V(L_1) = 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Izgara sistemi oluşturan diğer elemanlar ise -enine elemanlar- bordadan bordaya uzanan dolu döşeklerdir. Dolu döşeklerin bordalarda postalara bağlı olması ve postaların rijitliğinin döşeklere (enine elemanlara) göre çok düşük olması nedeni ile, postaları bağlı olan noktaların serbest mesnet olarak alınması gerçeğe yakın kabul olarak görülmektedir. Bu nedenle enine elemanlarda sınır şartları olarak çökme ve momentin olmadığı varsayılmaktadır.

$$\begin{aligned} V''(0) &= V(0) = 0 \\ V''(L_2) &= V(L_2) = 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Burada L_1 boyuna elemanların, L_2 ise enine elemanların boyudur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Izgara Sistem.

- L_1 : Panel boyu
- L_2 : Panel genişliği
- a : Döşekler arası mesafe
- b : Omurgalar arası mesafe.

2.2.1. Birinci çözüm yöntemi :

Enine ve boyuna elemanlar panele gelecek yükü belli bir oranda taşımaktadırlar. Bu yöntemin ana fikri budur. Eğer bu oranlar bulunabilirse yatay ve düşey kirişler birbirinden ayrılıp, ayrı ayrı taşıdığı yüke göre moment ve gerilme dağılışı bulunup kontrol edilebilirler.

Bu aşamada yapılan bir başka kabulden de söz etmek gerekir. Panel üzerine gelen basınç -düzgün yayılı- enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarından tekil kuvvet olarak etkililirler.

Böylelikle şu analizi yapmak mümkün olmaktadır.

1. Kesişim noktalarından birim tekil kuvvetler sırası ile etki ettirilir. Tekil kuvvetin etkidiği noktaya ve diğer kesişim noktalarına göre çökmeler bulunur.

2. Aynı işlem enine kirişler içinde yapılır.

3. Herhangi bir kesişim noktasında çökme, enine ve boyuna kirişler için eşit olacağından, o kesişim noktasını oluşturan enine ve boyuna kirişler için taşıma oranları cinsinden bir denklem elde edilir.

4. Kaç adet bilinmeyen varsa o sayıda denklem yazılarak bilinmeyen taşıma oranları bulunur.

Yukarda genel olarak söz edilen yöntemi daha geniş bir şekilde inceleyelim.

Izgara sistemdeki kesişim noktalarının bir matris gibi indislendiğini düşünürsek (Şekil 1.3) herhangi bir nokta için şu enine ve boyuna kiriş için şu eşitlik yazılabilir.

$$P\alpha + P(1-\alpha) = P \quad (2.3)$$

	$j=1$ $n=1$	$j=2$ $n=2$	$j=3$ $n=3$	$j=N$ $n=N$
$i=1$	$1,1$	$1,2$	$1,3$		$1,N$
$i=2$	$2,1$	$2,2$	$2,3$		$2,N$
\vdots					
\vdots					
\vdots					
$i=I$	$I,1$	$I,2$	$I,3$		I,N

Şekil 1.3. Izgara Sistem Notasyonu.

2.3 denkleminin anlamı şudur: Herhangi bir kesişim noktasına gelen P kuvvetini boyuna kirişler α oranında, enine kirişler ise $(1-\alpha)$ oranında taşımaktadır. Bu α bilinmeyenlerinin bulunması için oluşturulan denklemler, birim yüke göre bulunan çökmelerin enine ve boyuna kirişler için eşitlenmesiyle elde edilir.

Buradan da görülüyor ki, α bilinmeyenleri enine ve boyuna kirişlerin atalet momentlerine, elastisite katsayılarına ve mesnet şartlarına bağlıdır. Bunları dikkate alarak herhangi bir noktadaki çökmeyi boyuna kirişler için genel olarak $A_{i,j,n}$ şeklinde, enine kirişler içinde $B_{i,j,n}$ şeklinde ifade edebiliriz.

Herhangi bir kesişim noktasında çökmelerin eşitlenmesiyle oluşan denklemi genel olarak şu şekilde yazabiliriz. (Herhangi I boyuna ve enine kirişi için) :

$$\sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^N A_{ijn} \alpha_{jn} = \sum_{j=1}^J B_{ijn} (1-\alpha_{jn}) \quad (2.4)$$

Bu denklemde I boyuna ve enine kirişin sayısını, J enine ve boyuna kiriş için kesişim noktalarının sayısını, n ise herhangi bir j noktasına konan birim yükün n noktada oluşturduğu çökmeyi belirtmektedir.

Şekil 1.3 deki N adet enine ve J adet boyuna kirişten oluşan ızgara sistemi incelediğimizde N-I adet kesişim noktası olduğunu görürüz. İlk bakışta N.I adet bilinmeyen olduğu ve N.I x N.I boyutunda bir katsayılar matrisi oluşturularak bilinmeyenlerin çözülebileceği düşünülebilir. Fakat sistemin simetrik olması nedeni ile N.I adet denklemin bir kısmı aralarında lineer bağımlıdır. Bir başka deyişle gerçekte bilinmeyen sayısı kesişim noktası sayısından daha azdır. Tabi ki bu durum düzgün yayılı yük etkisindeki ve enine kirişlerin atalet momentlerinin aynı olduğu paneller için geçerlidir.

Gemi dip yapısı da bu türden bir paneldir. Şimdi düşünülmesi gereken konu N.J kirişten oluşmuş bir ızgara sistemin kaç adet bilinmiyeni olacağıdır. Veya bunların nasıl tespit edileceğidir. Bunların tespit edilmesi son derece kolaydır. Panelin geometrik yapısına veya kaç adet enine ve boyuna kirişten oluştuğuna bağlıdır. Şekil 1.3 deki paneli incelediğimizde, boyuna kirişler için ; 1.1 noktasındaki çökme ile 1.N noktasındaki çökmeler birbirine eşit olacaktır. Bu eşitliği enine simetri eksenine göre düşünebiliriz. Aynı şekilde boyuna simetri eksenine göre de 1.1 noktası ile J.1 noktasındaki çökme ise 1.N noktasındaki çökme ile de J,N noktasındaki çökme birbirine eşittir. Yani ;

$$A_{1.1.1} = A_{1.N.1} = A_{J.1.1} = A_{J.N.1} \quad (2.5)$$

eşitliği yazılabilir.

Benzer şekilde enine kirişler içinde bir bağıntı yapılabilir.

$$B_{1.1.1} = B_{1.J.1} = B_{N.1.1} = B_{N.J.1} \quad (2.6)$$

2.1 ve 2.6 eşitliklerinden görüleceği gibi 1 nolu boyuna kiriş ile 1 nolu enine kirişlerin 1.1 kesişim noktası için oluşturdukları denklemle, 1 nolu boyuna kiriş ve N nolu enine kirişin 1.N kesişim noktasında meydana getirdikleri denklem birbirinin aynıdır (Şekil 1.4).

2.5 ve 2.6 denklemleriyle diğer denklemlerin yapılmasında şu indis notasyonu kullanılmıştır.

Boyuna kirişlerin çeşitli kesişim noktalarındaki çökmeleri $A_{i,j,n}$ ile enine kirişlerin çökmeleri ise $B_{I,J,N}$ ile gösterilmiştir.

Boyuna kirişler için :

I : Kiriş numarası 1 den I'ya kadar

J : Birim yükün konduğu kesişim noktası 1 den N'ye kadar

n : Denklemin yazıldığı kesişim noktasıdır n den N'ye kadar

Enine kirişler için :

I : Kiriş numarası, 1 den I'ya kadar

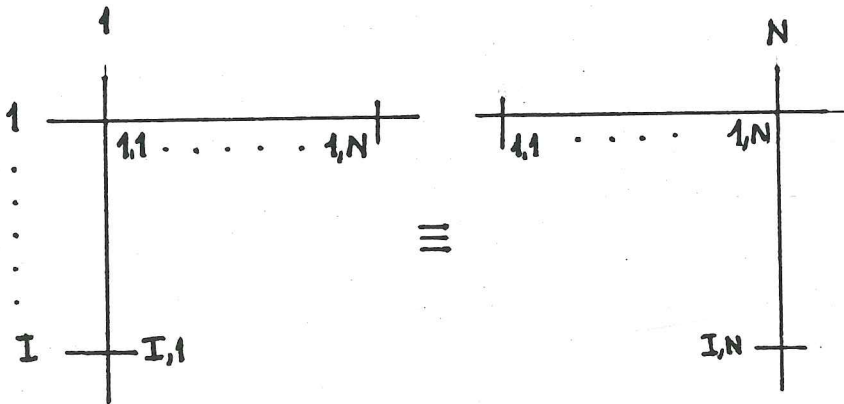
J : Birim yükün konulduğu kesişim noktası 1 den I'ya kadar

n : Denklemin yazıldığı kesişim noktasıdır. 1'den I'ya kadar

Bunlara göre örnekler verirsek :

$A_{1,3,1}$: 1 nolu boyuna kirişin 3 nolu kesişim noktasına konan birim yükün 1 nolu noktada yaptığı çökme.

$B_{3,4,2}$: 3 nolu enine kirişin 4 nolu noktasına konan birim yükün 2 nolu noktaya yaptığı çökmedir.



Şekil 1.4. Lineer Bağımlı Denklemler Oluşturan Elemanlar.

Aynı şekilde 1,2 noktasındaki çökme 1,N-1 noktasındaki çökmeye ve J,2 noktasındaki çökme de J,N-1 noktasındaki çökmeye eşittir. Yukardaki düşünceye benzer olarak ;

Boyuna kirişler için,

$$A_{1,2} = A_{1,N-1} = A_{J,1} = A_{J,N-1}$$

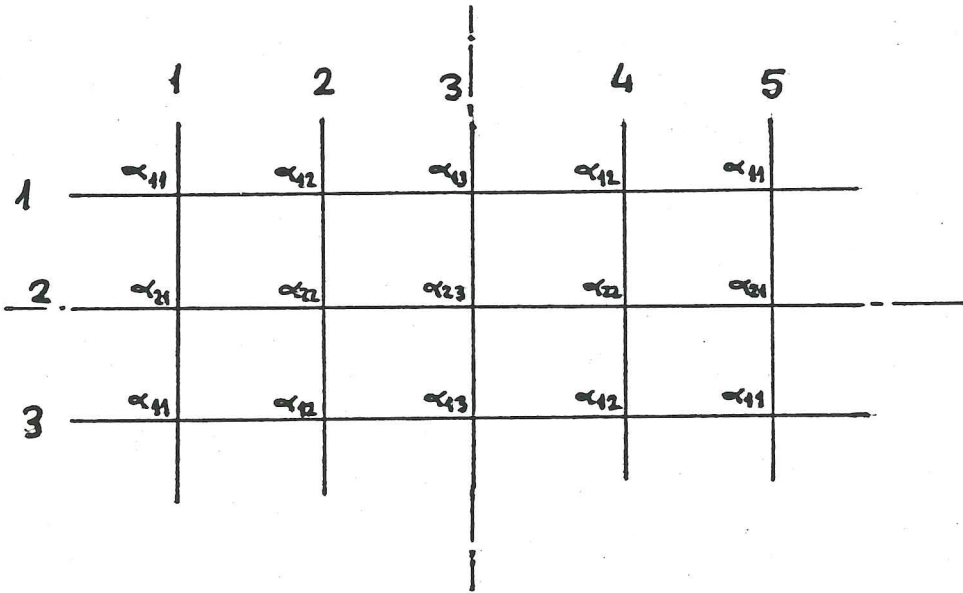
ve enine kirişler için de

$$B_{1,2} = B_{J,2} = B_{1,N-1} = B_{J,N-1}$$

eşitlikleri yazılabilir.

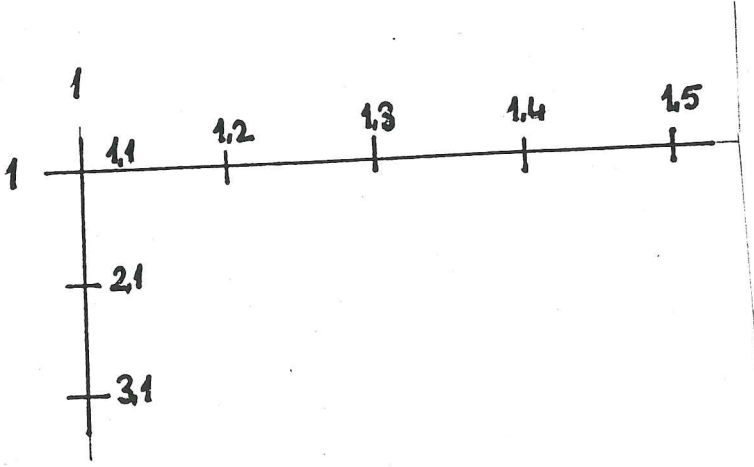
Genel olarak oluşturulacak denklem sayısı enine ve boyuna kirişlerin, enine ve boyuna simetri eksenine kadarki kesişim noktalarının sayısına eşit olmalıdır.

Buna göre her sistemde α bilinmeyenlerini düzenlemek mümkündür. Örneğin 3x5'lik bir ızgara sisteminin α bilinmeyenleri Şekil 1.5 de görülmektedir.



Şekil 1.5. 3x5'lik Izgara Sistem.

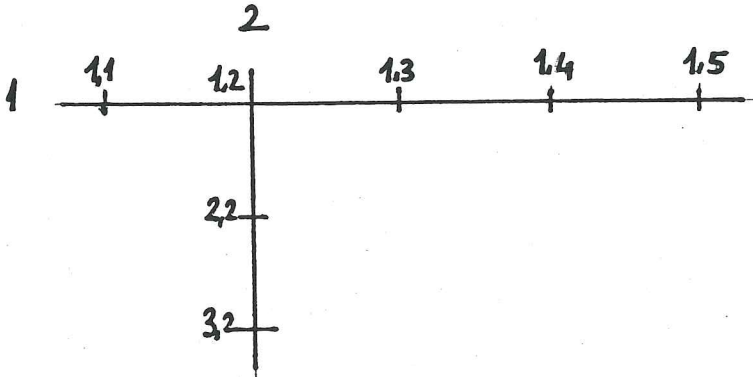
Sistemde altı adet bilinmeyen olduğu da görülmektedir. Bunun için 6x6 boyutunda bir katsayılar matrisi oluşturmak gerekir. Bu katsayılar matrisini oluştururken alınması gereken kirişler ve denklemler şunlardır :



Şekil 1.6. 1-1 Elemanları.

Şekil 1.6 dan yazılan denklem şöyledir :

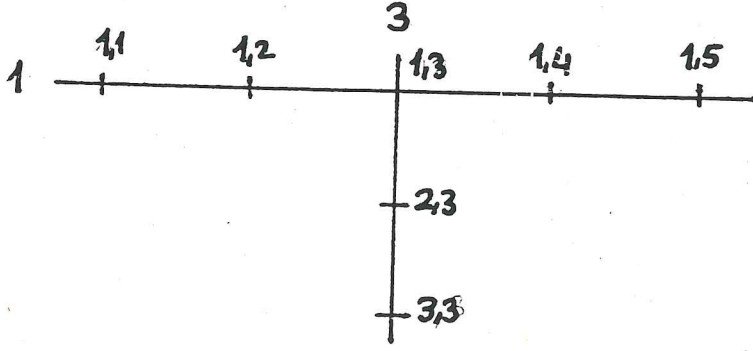
$$(A_{1,1,1} + A_{1,5,1} + B_{1,1,1} + B_{1,3,1}) \alpha_{11} + (A_{1,2,1} + A_{1,4,1}) \alpha_{12} + A_{1,3,1} \alpha_{13} - B_{1,2,1} \alpha_{21} = B_{1,1,1} + B_{1,3,1} + B_{1,2,1} \quad (2.7)$$



Şekil 1.7. 1-2 Elemanları.

Şekil 1.7 den yazılan 2. denklem :

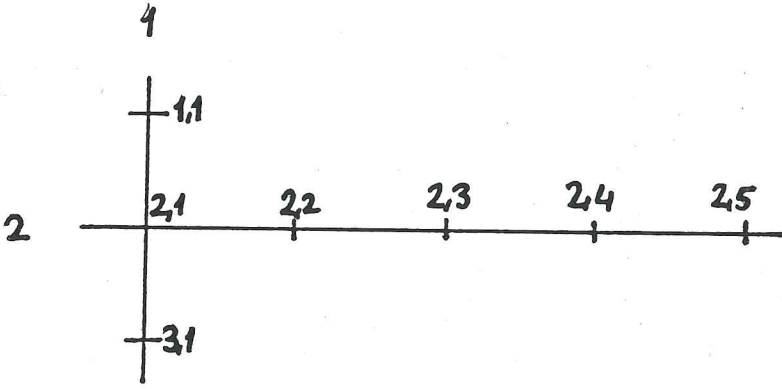
$$(A_{1,1,2} + A_{1,5,2}) \alpha_{11} + (A_{1,2,2} + A_{1,4,2} + B_{2,1,1} + B_{2,3,1}) \alpha_{12} + A_{1,3,2} \alpha_{13} + B_{2,2,1} = B_{2,1,1} - B_{2,2,1} - B_{2,3,1} \quad (2.8)$$



Şekil 1.8. 1-3 Elemanları.

Şekil 1.8 den yazılan 3. denklem :

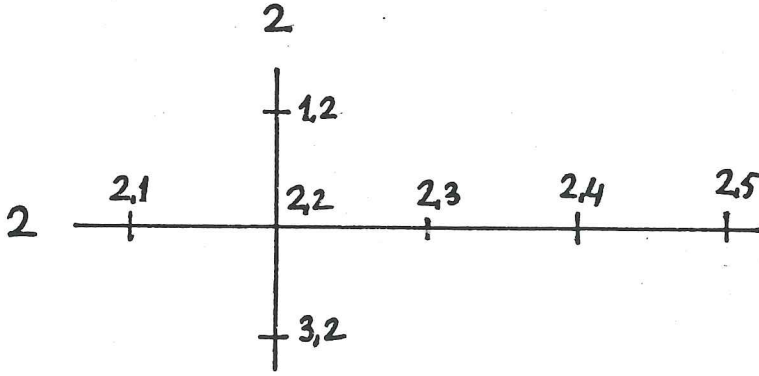
$$(A_{1,1,3} + A_{1,5,3})\alpha_{11} + (A_{1,2,3} + A_{1,4,3})\alpha_{12} + (A_{1,3,3} + B_{3,1,1} - B_{3,3,1})\alpha_{13} + B_{3,2,1} \alpha_{23} = B_{3,1,1} + B_{3,2,1} + B_{3,3,3} \quad (2.9)$$



Şekil 1.9. 2-1 Elemanları.

Şekil 1.9 dan yazılan 4. denklem :

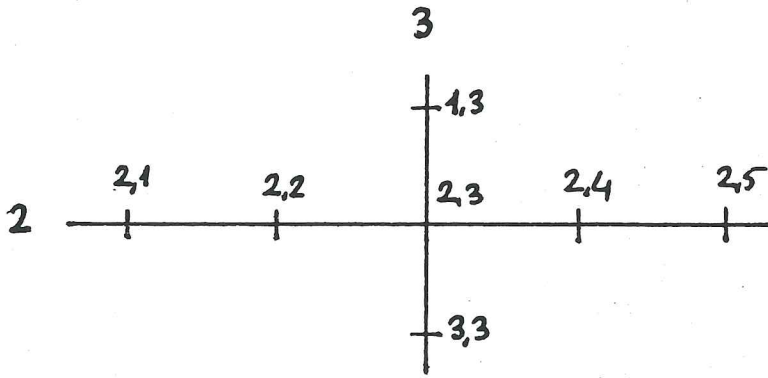
$$(B_{1,1,2} + B_{1,3,2})\alpha_{11} + (A_{2,1,1} + A_{2,5,1} + B_{1,2,2})\alpha_{21} + (A_{2,2,1} - A_{2,4,1})\alpha_{22} - A_{2,3,1} \alpha_{23} = B_{1,1,2} + B_{1,2,2} + B_{1,3,2} \quad (2.10)$$



Şekil 1.10. 2-2 Elemanları.

Şekil 1.10 dan yazılan denklem :

$$(B_{2,1,2} + B_{2,3,2})\alpha_{12} + (A_{2,1,2} + A_{2,5,2})\alpha_{21} + (A_{2,2,2} + A_{2,4,2} + B_{2,2,2})\alpha_{22} + A_{2,3,2}\alpha_{23} = B_{2,1,2} + B_{2,2,2} + B_{2,3,2} \quad (2.11)$$



Şekil 1.11. 2-3 Elemanları.

Şekil 1.11 den yazılan 6.denklem :

$$(B_{3,1,2} + B_{3,3,2})\alpha_{13} + (A_{2,1,3} + A_{2,5,3})\alpha_{21} + (A_{2,2,3} + A_{2,4,3})\alpha_{22} + (A_{2,3,3} + B_{3,2,2})\alpha_{23} = B_{3,1,2} + B_{3,2,2} + B_{3,3,2} \quad (2.12)$$

Şekil 1.5 de verilen ızgara sistemin denklem sistemini 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11 ve 2.12 denklemlerinde yararlanarak yazabiliriz.

Denklem sisteminin formu şu şekilde olacaktır.

$$[A, B] \times \begin{bmatrix} \vdots \\ \alpha \\ \vdots \end{bmatrix} = [B]$$

Katsayılar matrisi ;

$$\begin{array}{cccccc} A_{1,1,1}+A_{1,5,1} & A_{1,2,1}+A_{1,4,1} & A_{1,3,1} & B_{1,2,1} & 0 & 0 \\ +B_{1,1,1}+B_{1,3,1} & & & & & \\ A_{1,1,2}+A_{1,5,2} & A_{1,2,2}+A_{1,4,2} & A_{1,3,2} & 0 & B_{2,2,1} & 0 \\ +B_{2,1,1}+B_{2,3,1} & & & & & \\ A_{1,1,3}+A_{1,5,3} & A_{1,2,3}+A_{1,4,3} & A_{1,3,3}+B_{3,1,1} & 0 & 0 & B_{3,2,1} \\ +B_{3,3,1} & & & & & \\ B_{1,1,2}+B_{1,3,2} & 0 & 0 & A_{2,1,1}+A_{2,5,1} & A_{2,2,1}+A_{2,4,1} & A_{2,3,1} \\ +B_{1,2,2} & & & & & \\ 0 & B_{2,1,2}+B_{2,3,2} & 0 & A_{2,1,2}+A_{2,5,2} & A_{2,2,2}+A_{2,4,2} & A_{2,3,2} \\ +B_{2,2,2} & & & & & \\ 0 & 0 & B_{3,1,2}+B_{3,3,2} & A_{2,1,3}+A_{2,5,3} & A_{2,2,3}+A_{2,4,3} & A_{2,3,3}+B_{3,2,2} \end{array}$$

α matrisi ,

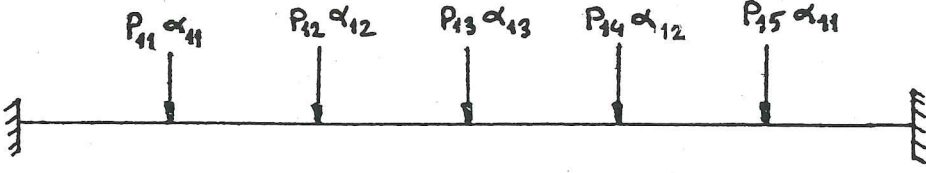
$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \alpha_{13} \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{22} \\ \alpha_{23} \end{bmatrix}$$

B Matrisi ;

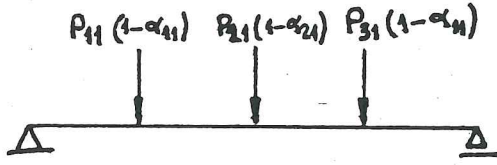
$$\begin{bmatrix} B_{1.1.1} + B_{1.2.1} + B_{1.3.1} \\ B_{2.1.1} + B_{2.2.1} + B_{2.3.1} \\ B_{3.1.1} + B_{3.2.1} + B_{3.3.1} \\ B_{1.1.2} + B_{1.2.2} + B_{1.3.2} \\ B_{2.1.2} + B_{2.2.2} + B_{2.3.2} \\ B_{3.1.2} + B_{3.2.2} + B_{3.3.2} \end{bmatrix}$$

Denklem takımının çözümünden α_{11}' , α_{12}' , α_{13}' , α_{14}' , α_{22} , α_{23} bilinmeyenleri bulunur. Bundan sonra kesişim noktalarındaki α taşıma oranları bulunduğu göre (birim yüke göre) enine ve boyuna kirişleri birbirlerinden ayırarak ayrı ayrı incelemek mümkündür. Bunun için şu yol takip edilir.

1. Enine ve boyuna kirişler ayrılır.
2. Kesişim noktalarına gelen tekil yükler bulunur. Bunu bulmak için panele gelen basınç ile kesişim noktalarının taşıdığı alan çarpılır.
3. Boyuna kirişler için kesişim noktasına gelen yük ile o noktanın taşıma oranı α çarpılır.
4. Enine kirişler için kesişim noktasına gelen yük $(1-\alpha)$ ile çarpılır.
5. Enine veya boyuna kiriş için bulduğumuz tekil kuvvetlerden dolayı moment diyagramı çizilir ve gerilme incelenmesi yapılır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12. 1 Nolu boyuna kirişe gelen yükler.

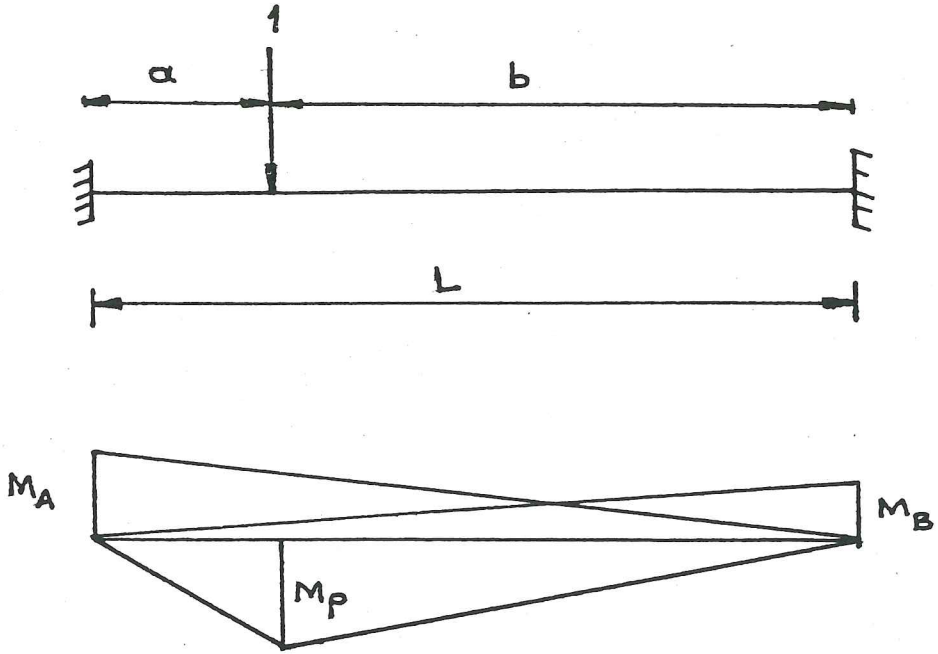


Şekil 1.13. 1 Nolu enine kirişe gelen yükler.

2.2.1.1. $A_{i,j,n}$ ve $B_{i,j,n}$ katsayılarının bulunması :

Daha önce de bahsedildiği gibi $A_{i,j,n}$ ve $B_{i,j,n}$ katsayıları ızgara sistemdeki kesişim noktalarında sırasıyla boyuna ve enine kirişler için çökmelerdi. Bu çökmelerde herhangi kesişim noktasına konan birim yükün etkidiği noktadaki ve diğer noktalardaki değerlerdir. Çökmeleri MOHR veya Moment ALANI yöntemi diye adlandırılan yöntemle yapılmıştır. Birim yükün kiriş boyunca moment diyagramı çizilmiş ve moment alanının moment çökmenin bulunmasının istenildiği noktaya göre alınıp çökme bulunmuştur.

Boyuna elemanların çökme hesabı yapılırken, kirişin iki ucu ankastre mesnet olarak alındığında moment diyagramları şu şekilde çizilir.



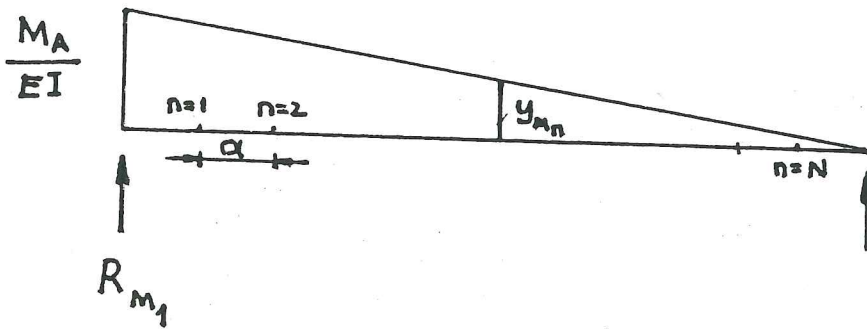
Şekil 1.14. Boyuna Elemandaki Moment Dağılışı.

$$M_A = \frac{a \cdot b^2}{L^2}$$

$$M_B = \frac{a^2 \cdot b}{L^2}$$

$$M_P = \frac{ab}{L}$$

Şekil 1.14 de gösterilen diyagramda moment dağılımından yararlanarak çökmeleri bulalım. Bunun için diyagramı oluşturan bütün moment alanlarını ayrı ayrı olarak çökmeleri bulup sonra süperpoze edersek ;



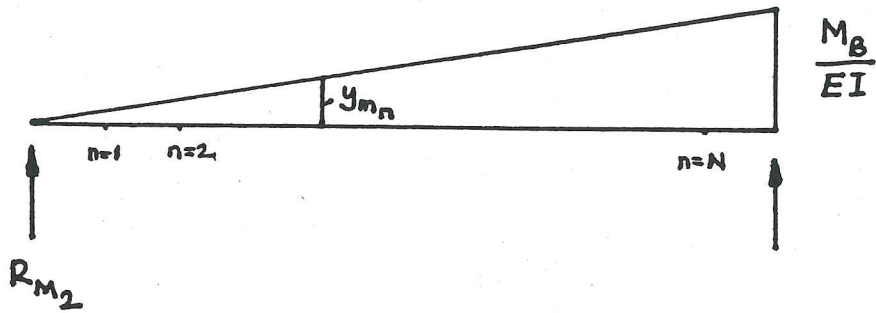
$$R_{m1} = \frac{M_A}{EI} \cdot \frac{1}{3} \cdot L \quad y_{m_n} = M_A - \frac{M_A}{N} n$$

$$n=1 : F_{M_{A_1}} = R_{M_1} a - \frac{1}{EI} (y_{m_1} a \frac{a}{2} + (M_A - y_{m_1}) \cdot a^2 / 3)$$

$$n=2 : F_{M_{A_2}} = R_{M_1} 2a - \frac{1}{EI} (y_{m_1} 2a \frac{2a}{2} + (M_A - y_{m_2}) \cdot 2^2 \cdot a^2 / 3)$$

⋮

$$n=N : F_{M_{A_N}} = R_{M_1} Na - \frac{1}{EI} (y_{m_n} Na \cdot \frac{N \cdot a}{2} + (M_A - y_{m_N}) \cdot N^2 \cdot a^2 \cdot \frac{1}{3}) \quad (2.13)$$



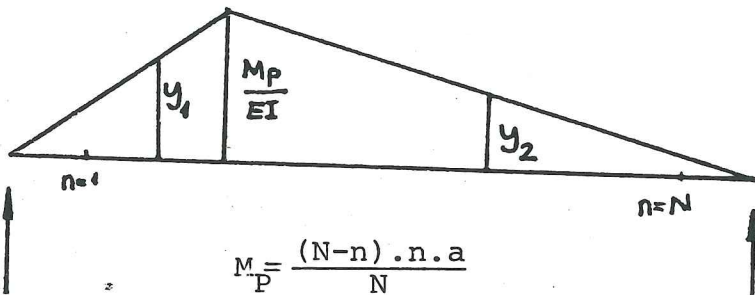
$$R_{m_2} = \frac{M_B}{EI} \cdot L \cdot \frac{1}{6} \quad y_{m_n} = \frac{M_B}{EI} \cdot \frac{n}{N}$$

$$n=1 : F_{m_{B_1}} = R_{M_2} \cdot a - y_{m_1} \cdot a^2 \cdot \frac{1}{3}$$

$$n=2 : F_{m_{B_2}} = R_{M_2} \cdot 2a - y_{m_2} \cdot 2^2 \cdot a^2 \cdot \frac{1}{3}$$

⋮

$$n=N : F_{m_{B_N}} = R_{M_2} \cdot Na - y_{m_N} \cdot N^2 \cdot a^2 \cdot \frac{1}{3} \quad (2.14)$$



$$M_P = \frac{(N-n) \cdot n \cdot a}{N}$$

$$R_1 = (M_P \cdot n^2 \cdot a \cdot \frac{1}{6} + M_P \cdot n \cdot (N-n) \frac{a}{2} + M_P (N-n)^2 \cdot a \cdot \frac{1}{3}) / N$$

Yukarıdaki moment alanının en genel halde, yani her kesişim noktasından uygulanan yükün her kesişim noktasına göre momentlerinin alınarak çökmelerin bulunması ancak kirişi iki bölgeye ayırarak mümkündür. Bunun nedeni de moment diyagramının kuvvetin uygulandığı noktada süreksizlik göstermesidir. Bundan dolayı 1.Bölge olarak kuvvetin uygulandığı noktaya kadarki kısım, 2.Bölge de bu noktadan sonraki kısım olarak alınacaktır. Genel çökme ifadesi de 1 ve 2 no.lu bölgeler için ayrı ayrı çıkartılmalıdır.

Tekil kuvvetin J'inci noktadan etkidiğini kabul edersek

1.Bölge $n \leq j$

$$F_1 = (R_1 \cdot n \cdot a - Y_1 \cdot n^2 \cdot a^2 / b) / EI \quad (2.15)$$

$$\text{Burada } Y_1 = \frac{n}{J} \cdot M_p$$

2.Bölge : $n > j$

$$F_2 = (R_1 \cdot n \cdot a - (M_p \cdot j \cdot a \frac{1}{2} (\frac{1}{3} \cdot j \cdot a + (n-j) \cdot a) + Y_2 (n-j)^2 \cdot a^2 / 2 + (M_p - Y_2) (n-j)^2 \cdot a^2 / 3)) / EI \quad (2.16)$$

$$\text{Burada } Y_2 = M_p - \frac{(n-J)M_p}{(N-J)}$$

Böylece boyuna kirişler için engenal halde çökme ifadesi 2.13, 2.14, 2.15, 2.16 denklemlerinden yararlanılarak şöyle yazılabilir :

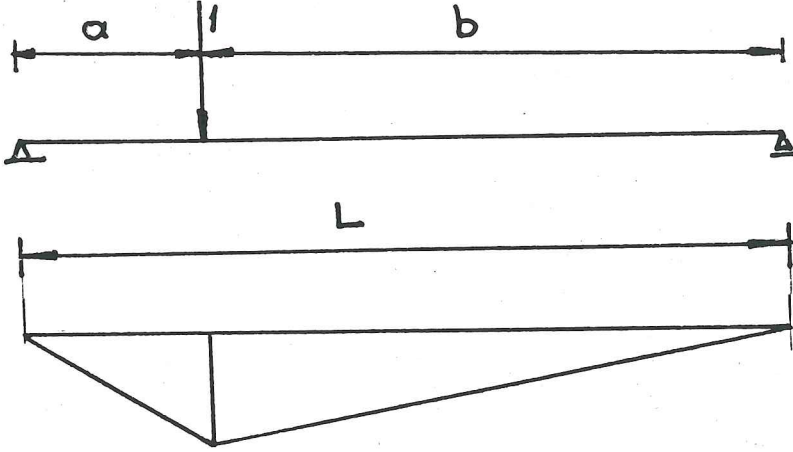
$n \leq j$ için :

$$A_{i,j,n} = F_1 - F_{M_{A_n}} - F_{M_{B_n}} \quad (2.17)$$

$n > j$ için :

$$A_{i,j,n} = F_2 - F_{M_{A_n}} - F_{M_{B_n}} \quad (2.18)$$

Enine elemanların çökmesinin en genel halde çıkartılması için moment diyagramını çizersek :



görüldüğü ki enine elemanların en genel halde çökmesi 2.15 ve 2.16 da bulduğumuz denklemlerle aynıdır. Yalnızca n'l den I'ya kadar değişecektir.

$n \leq j$

$$B_{i,j,n} = (R_1 \cdot n \cdot a - Y_1 \cdot n^2 \cdot a^2 / 6) / EI \quad (2.19)$$

$n > j$

$$B_{i,j,n} = (R_1 \cdot n \cdot a - (M_p \cdot j \cdot a \cdot \frac{1}{2} (\frac{1}{3} j \cdot a + (n-j) a) + y_2 \cdot (n-j)^2 \cdot a^2 / 2 + (M_p - y_2) \cdot (n-j)^2 \cdot a^2 / 3)) / EI \quad (2.20)$$

Bu formüllerde

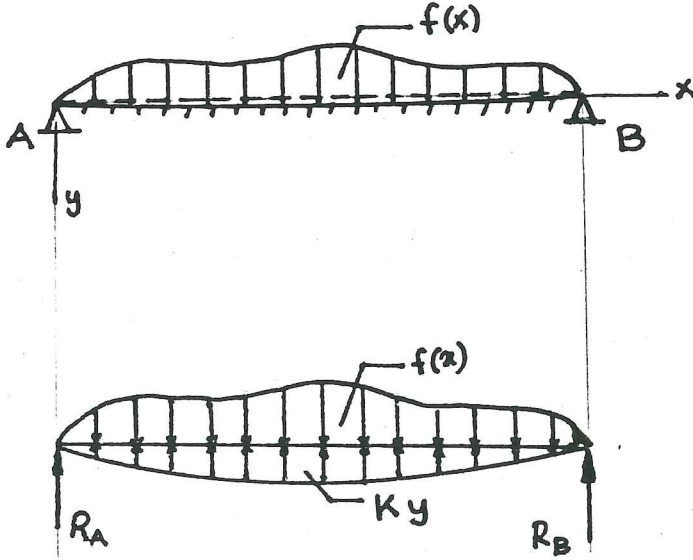
$$Y_1 = \frac{n}{j} \cdot M_p \quad Y_2 = M_p - \frac{(n-j)}{(I-j)} \cdot M_p$$

2.2.2. İkinci Çözüm Yöntemi :

Bu yöntemde kirişler elastik zemin üzerinde kabul edilmiştir. 2.2.1 de bahsedilen sınır şartları aynen burada da kullanılacaktır. Genel olarak paneli oluşturan kirişler indis uyluşımı ile ifade edilmişler ve diferansiyel denklemler bunlar kullanılarak genelleştirilmişlerdir.

2.2.2.1. Elastik zemin üzerindeki kiriş :

Kiriş uzunluğu boyunca elastik bir mesnet tarafından desteklenmektedir. Her noktadaki taşıma kuvveti çökmelerle orantılıdır. Kiriş üzerindeki yayılı yükü $f(x)$ fonksiyonu ile tanımlarsak elastik zeminin buna tepkisi Ky yayılı yükü şeklinde olacaktır. Burada K elastik zeminin modülüdür. Kiriş üzerindeki toplam yük $f(x) - Ky$ olacaktır.



Şekil 2.15. Elastik mesnet tarafından desteklenen basit mesnetli kiriş.

x, y koordinat sisteminde eğilme momentinin aşağıdaki ilişkilerini yazabiliriz.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{M}{EI} \quad (2.2.1)$$

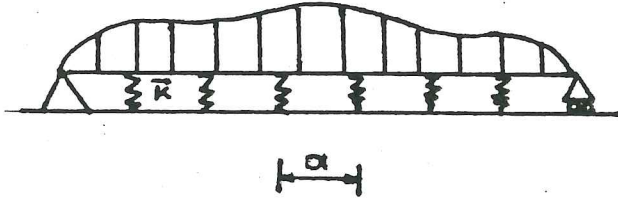
$$\frac{d^2 M}{dx^2} = -p(x)$$

Burada $p(x)$ toplam yayılı yüküdür.

2.2.1 denkleminde elastik mesnet üzerindeki kirişin diferansiyel denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Ky = f(x) \quad (2.2.2)$$

Pratik olması bakımından elastik mesnet yerine a aralıkları ile yaylar konulmuştur (Şekil 2.16).

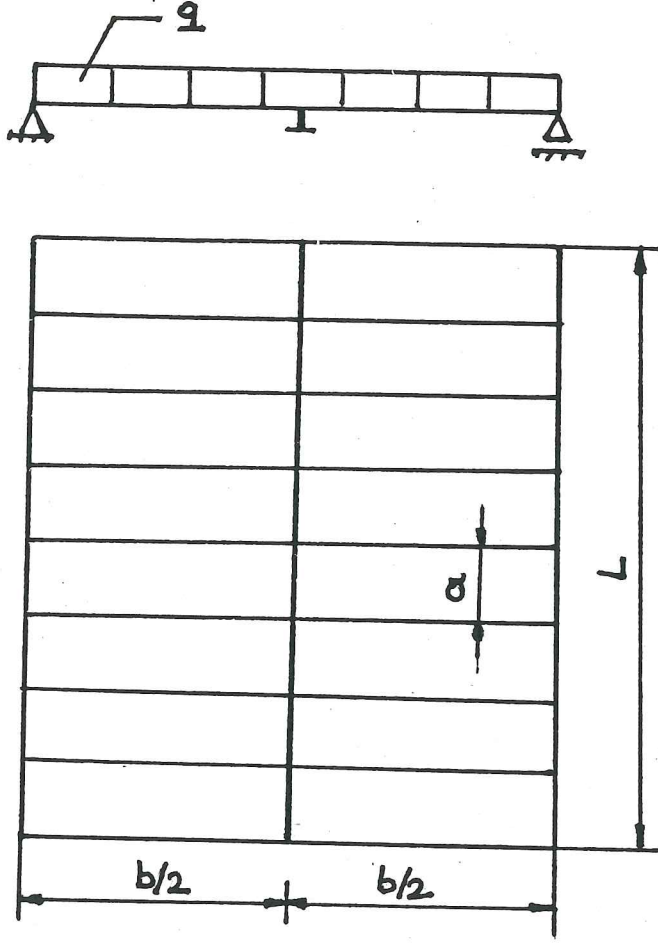


Şekil 2.16. Yaylar Tarafından Taşınan Kiriş.

Tabii ki bu kabul küçük çökmeler için geçerlidir. Elastik zemin modülünde yay sabitleri cinsinden şu şekilde yazılabilir :

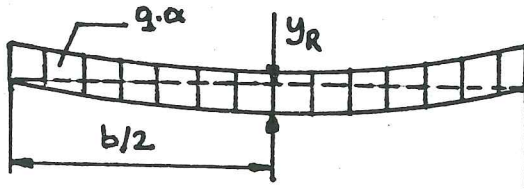
$$K = \frac{\bar{K}}{a}$$

Bir boyuna eleman ve yedi enine elemandan oluşan boyu L , genişliği b olan ve düzgün bir basınç etkisindeki bir paneli ele alırsak Şekil



Şekil 2.17. 1x7'lik Izgara Sistem.

Bu ızgara sistemde de enine kirişler uçlarından basit mesnetli, boyuna kiriş uçlarında ankastre mesnetlidir. Stifnerler üzerindeki yayılı yük $q \cdot a$ dır. Herhangi bir enine elemanları boyuna elemanının kesişim noktasındaki tepki kuvvetine "R" diyelim. Şekil 2.18 deki enine elemanın çökmesi şöyle hesaplanır.



Şekil 2.18. Basit Mesnetli Kirişin Çökmesi.

yayıllı yükten dolayı oluşan çökme ($n = b/2$ de)

$$Y_R(q) = \frac{5 q a b^4}{384 EI_S}$$

kesişim noktasındaki R kuvvetinin meydana getirdiği çökme

$$Y_R(R) = - \frac{Rb^3}{48 EI_S}$$

Enine elemanın orta noktasında oluşan toplam çökme

$$Y_R = Y_R(q) + Y_R(R) = \frac{5qab^4}{384EI_S} - \frac{Rb^3}{48EI_S} \quad (2.2.3)$$

R kuvveti aynı zamanda boyuna eleman üzerine gelen kuvvettir. 2.2.3 denkleminde R'yi şöyle bulabiliriz.

$$R = \frac{5}{8} qab - \frac{48 EI_S}{b^3} Y_R$$

Eğer enine elemanlar üzerindeki yük üniform ise boyuna eleman üzerindeki yüklerin her a aralığına göre miktarı,

$$\frac{R}{a} = \frac{5}{8} qb - \frac{48 EI_S}{ab^3} Y \quad (2.2.4)$$

olacaktır. Burada Y'nin alt indisi düşmüştür. Çünkü 2.2.4 denklemini boyuna eleman uzunluğunca geçerlidir.

2.2.2 denkleminde aşağıdaki denklemi yazabiliriz:

$$EI_G \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} - \frac{48 EI_s}{ab^3} y = \sum_{n=1}^N R_n \quad (2.2.5)$$

Burada $48 EI_s / ab^3$ yay sabitini göstermektedir. $f(x)$ düzgün yayılı yükün yerini de tüm kesişim noktalarından etkileyen R_n kuvvetlerinin toplamı almıştır.

Eğer panelde birden fazla boyuna eleman varsa 2.2.3 denklemini genelleştirmek gerekir.

$$y_i = d_i - R_j \alpha_{ij} \quad (i = j = 1, 2, \dots, N) \quad (2.2.6)$$

(2.2.6) denkleminde

y_i = i'ninci boyuna elemandaki enine kirişin toplam çökmesi,

d_i = i'ninci boyuna kirişdeki yayılı yükten dolayı çökme

α_{ij} = stifnerin i'ninci boyuna kirişteki, j'inci boyuna kirişteki birim yükten dolayı çökmesi,

R_j = j'inci boyuna kiriş ve enine kiriş arasındaki kuvvet.

N = Boyuna kiriş sayısı.

(2.2.6) denklemini dağılmış yük için i'ninci boyuna kiriş için çözersek ;

$$\bar{R}_i = \bar{\alpha}(d_i - y_i - R_j \alpha_{ij}) \quad (2.2.7)$$

burada ;

$$\bar{R}_i = \frac{R_i}{a\alpha_{ii}} \quad \bar{\alpha} = \frac{1}{a\alpha_{ii}} \quad \alpha_{ij} = \alpha_{ij} : i \neq j$$

$$= 0 : i = j$$

i'ninci boyuna kiriş için diferansiyel denklem şu şekildedir.

$$EI_{ij} \delta_{jk} \frac{d^4 y_k}{dx^4} = \bar{\alpha} (d_i - y_i - R_j \bar{\alpha}_{ij}) \quad (2.2.8)$$

bu denklemde,

$$\delta_{jk} = 1 \quad j = k$$

$$= 0 \quad j \neq k$$

$$I_{ij} = i'ninci \text{ gövdenin atalet momenti } j=i \text{ için}$$

$$= 0 \quad j \neq i$$

(2.2.8) denklemi ile verilen N denklemlilik sistem R_i bilinmeyen kuvvetlerinden dolayı lineerdir. Bundan dolayı bu denklemler 2.2.6 denklemi ile elimine edilebilirler ve sonuç olarak iki eş denkleme indirgenirler.

2.2.2.2. İki eş diferansiyel denklemin çözümü :

İki boyuna kirişli hal için 2.2.8 denklemi şu şekilde yazılabilir :

$$aEI_{11} \alpha_{11} \frac{d^4 y_1}{dx^4} = d_1 - y_1 - R_2 \alpha_{12}$$

$$aEI_{22} \alpha_{22} \frac{d^4 y_2}{dx^4} = d_2 - y_2 - R_1 \alpha_{21}$$

Bu denklemleri 2.2.6 da yerine koyarsak, boyuna kirişlerin çökmelerini sağlayan diferansiyel denklemler aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 aEI_{11}\alpha_{11} \frac{d^4 y_1}{dx^4} + aEI_{22}\alpha_{12} \frac{d^4 y_2}{dx^4} + y_1 &= d_1 \\
 aEI_{11}\alpha_{21} \frac{d^4 y_1}{dx^4} + aEI_{22}\alpha_{22} \frac{d^4 y_2}{dx^4} + y_2 &= d_2
 \end{aligned} \tag{2.2.9}$$

$$A_{ij} = aEI_{Lk} \alpha_{iL} \delta_{jk}$$

dersek, 2.2.9 denklemi şu şekli alır.

$$A_{ij} \frac{d^4 y_j}{dx^4} + y_i = d_i \tag{2.2.10}$$

İki boyuna kirişli hal için 2.2.10 denklemi

$$\begin{aligned}
 A_{11} \frac{d^4 y_1}{dx^4} + A_{12} \frac{d^4 y_2}{dx^4} + y_1 &= d_1 \\
 A_{21} \frac{d^4 y_1}{dx^4} + A_{22} \frac{d^4 y_2}{dx^4} + y_2 &= d_2
 \end{aligned} \tag{2.2.11}$$

şeklinde yazılır.

A_{ij} i'ninci görderdeki j'ninci terimi göstermektedir ve kiriş atalet momenti tanımından şu şekli alır.

$$A_{ij} = aEI_{ij} \alpha_{ij}$$

$$\bar{A}_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_{ii}}$$

$$B_{ij} = \frac{1}{A_{ij}} : i = j$$

$$= 0 : i \neq j$$

$$= 0 : A_{ij} = 0$$

Yukardaki tanımlamalardan sonra 2.2.11 denklemini şu şekilde yazabiliriz

$$A_{ij} = \frac{d^4 y_j}{dx^4} + B_{ij} y_j = B_{ij} d_j = f_i(x) \quad (2.2.12)$$

İki boyuna kırıktan oluşan sistem için, boyuna kırıların çökmesinin diferansiyel denklemini diferansiyel operatörler cinsinden yazalım.

$$\begin{aligned} [D^4 + B_{11}]y_1 + \bar{A}_{12}D^4y_2 &= B_{11}d_1 = f_1(x) \\ A_{21}D^4y_1 + [D^4 + B_{22}]y_2 &= B_{22}d_2 = f_2(x) \end{aligned} \quad (2.2.13)$$

Bundan sonra yapılacak iş bu diferansiyel denklemleri çözmektir. Bunun için çeşitli yöntemlerden birisi de Laplace transform yöntemidir.

$$\begin{aligned} Y_1(s) [s^4 + B_{11}] + \bar{A}_{12}s^4 Y_2(s) \\ = F_1(s) + [s^3 y_1(0) + s^2 D y_1(0) + s D^2 y_1(0) + D^3 y_1(0)] \\ + \bar{A}_{12} [s^3 y_2(0) + s^2 D y_2(0) + s D^2 y_2(0) + D^3 y_2(0)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2(s) [s^4 + B_{22}] + \bar{A}_{21}s^4 Y_1(s) \\ = F_2(s) + [s^3 y_2(0) + s^2 D y_2(0) + s D^2 y_2(0) + D^3 y_2(0)] \\ + \bar{A}_{21} [s^3 y_1(0) + s^2 D y_1(0) + s D^2 y_1(0) + D^3 y_1(0)] \end{aligned} \quad (2.2.14)$$

Mesnetlerde çökme sınır şartından dolayı sıfırdır.

$$y_1(0) = y_2(0) = 0$$

Yukardaki sınır şartları (2.2.14) denkleminde yerine konursa, (2.2.14) denklemi şu şekli alır.

$$\begin{aligned} & [s^4 + B_{11}]Y_1(x) + \bar{A}_{12}s^4Y_2(s) \\ & = F_1(s) + [s^2D_1(0) + sD_1^2(0) + D_1^3(0)] \\ & + \bar{A}_{12}[s^2D_2(0) + sD_2^2(0) + D_2^3(0)] \end{aligned}$$

(2.2.15)

$$\begin{aligned} & \bar{A}_{21}s^4Y_1(s) + [s^4 + B_{22}]Y_2(s) \\ & = F_2(s) + \bar{A}_{21}[s^2D_1(0) + sD_1^2(0) + D_1^3(0)] \\ & + [s^2D_2(0) + sD_2^2(0) + D_2^3(0)] \end{aligned}$$

Burada

$$D_i^n(x) = \frac{d^n}{dx^n} [y_i(x)]$$

(2.2.15) denklemini $Y_1(s)$ için çözümlerse ;

$$\begin{aligned}
& \{(s^4 + B_{11})(s^4 + B_{22}) - s^8 \bar{A}_{12} \bar{A}_{21}\} Y_1(s) \\
& = (s^4 + B_{22})F_1(s) - \bar{A}_{12} s^4 F_2(s) \\
& + D_1(0) s^2 [(1 - A_{12} A_{21}) s^4 + B_{22}] \\
& + D_1^2(0) s^2 [(1 - A_{12} A_{21}) s^4 + B_{22}] \\
& + D_1^3(0) [(1 - A_{12} A_{21}) s^4 + B_{22}] \\
& + D_2(0) A_{12} B_{22} s^2 + D_2^2(0) A_{12} B_{22} s \\
& + D_2^3(0) A_{12} B_{22} = H_1(s)
\end{aligned} \tag{2.2.16}$$

$Y_2(s)$ için (2.2.16) denkleminde 1 ve 2 indislerini kendi aralarında değiştirmek gerekir.

Denklemleri kısaltmak açısından aşağıdaki tanımları yapmak gerekir.

$$(1 - \bar{A}_{12} \bar{A}_{21}) = \frac{A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21}}{A_{11} A_{22}} = \bar{A}$$

(2.2.16) denklemi şu şekilde yazılabilir.

$$A [s^8 + B s^4 + C] Y_1(s) = H_1(s) \tag{2.2.17}$$

burada ;

$$B = \frac{B_{11} + B_{22}}{\bar{A}} = \frac{A_{11} + A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21}}$$

$$C = \frac{B_{11} B_{22}}{\bar{A}} = \frac{1}{A_{11} A_{22} - A_{12} A_{21}}$$

(2.2.17) denkleminin çözülebilmesi için $B^2 - 4C = 0$ olmalıdır.

Bundan dolayı,

$$[s^4 + 4\lambda_1^4][s^4 + 4\lambda_2^4] \bar{A}Y_1(s) = H_1(s) \quad (2.2.8)$$

yazılabilir. Burada ;

$$8\lambda_1^4 = B + \sqrt{B^2 - 4C} \quad ; \quad 8\lambda_2^4 = B - \sqrt{B^2 - 4C}$$

$Y_1(s)$ için şu denklem yazılabilir.

$$\bar{A}Y_1(s) = \frac{H_1(s)}{(s^4 + 4\lambda_1^4)(s^4 + 4\lambda_2^4)} = G(s)H_1(s) \quad (2.2.9)$$

$D_1^n(x)$ diferansiyel operatörün tanımından $D_1(0)$ boyuna kirişin $x = 0$ daki eğimi, $D_1^2(0)$ ve $D_1^3(0)$ da sırasıyla $x = 0$ daki eğilme momenti ve kesmeyle oranı gösterir. Bunları aşağıdaki notasyonlarla gösterirsek ;

$$D_1^1 = D_1(0) = \phi_1(0)$$

$$D_1^2 = D_1^2(0) = -\frac{M_1(0)}{EI_{11}}$$

$$D_1^3 = D_1^3(0) = -\frac{V_1(0)}{EI_{11}}$$

$$D_2^1 = D_2(0) = \phi_2(0)$$

$$D_2^2 = D_2^2(0) = -\frac{M_2(0)}{EI_{22}}$$

$$D_2^3 = D_2^3(0) = -\frac{V_2(0)}{EI_{22}}$$

Bunlardan yararlanılarak (2.2.19) denklemi ;

$$\begin{aligned} \bar{A}Y_1(s) = G(s) \{ [(s^4 + B_{22})F_1(s) - \bar{A}_{12}s^4 F_2(s)] \} \\ + G(s) \left[\bar{A} \left\{ s^4 + \frac{B_{22}}{\bar{A}} \sum_{m=1}^3 s^{3-m} D_1^m \right\} + \bar{A}_{12} B_{22} \sum_{m=1}^3 s^{3-m} D_2^m \right] \end{aligned} \quad (2.2.20)$$

şeklinde yazılabilir.

(2.2.20) denklemimin her iki tarafı A ile bölünüp ters Laplace'sı alınırsa çökme denklemi bulunur. Aynı işlemleri indislerin kendi aralarında değiştirilmiş haliyle yeniden yapılması ile ikinci boyuna kiriş içinde çökme ifadesi bulunur.

$$L^{-1} Y_1(s) = y_1(x)$$

$$L^{-1} Y_2(s) = y_2(x) \quad (2.2.21)$$

$Y_1(x)$ ve $Y_2(x)$ denklemi aynı altı bilinmeyenin bağılısıdır. $Y_1(L) = Y_2(L) = 0$ sınır şartlarını uyguladıktan sonra geriye 4 adet şart kalır. Bunlar uç noktaların basit veya ankastre mesnet durumları için, moment veya eğimin sıfır olma durumudur.

(2.2.20) denkleminin sağ tarafı iki bölümden meydana gelir. 1. Bölüm yük ile ilgili, ikinci bölümde sınır şartları ile ilgili bölümler. Bunları ayrı ayrı inceleyelim ve ters transformlarını bulalım.

Ters yük transformu : (2.2.20) denklemindeki ters yük transformu şu şekildedir.

$$L^{-1} \left\{ \frac{(s^4 + B_{22})F_1(s) - \bar{A}_{12}s^4 F_2(s)}{(s^4 + 4\lambda_1^4)(s^4 + 4\lambda_2^4)} \right\} = W_1(x) \quad (2.2.22)$$

$$\frac{s^{n-1}}{(s^4 + 4\lambda_1^4)(s^4 + 4\lambda_2^4)} = \bar{\lambda} s^{n-1} [Q(s, \lambda_2) - Q(s, \lambda_1)] \quad (2.2.23)$$

$1 \leq n \leq 4$

$$\frac{s^{n-1}s^4}{(s^4 + 4\lambda_1^4)(s^4 + 4\lambda_2^4)} = 4\bar{\lambda} s^{n-1} [\lambda_1^4 Q(s, \lambda_1) - \lambda_2^4 Q(s, \lambda_2)] \quad (2.2.24)$$

$1 \leq n \leq 4$

Burada ;

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4(\lambda_1^4 - \lambda_2^4)}$$

$$Q(s, \lambda_k) = \frac{1}{(s^4 + 4\lambda_k^4)}$$

Tablolarda $s^{n-1} Q(s, \lambda_k)$ 'nin ters Laplace'ı şu şekilde verilmiştir.

$$L^{-1}\{s^{n-1} Q(s, \lambda_k)\} = \theta_n(\lambda_k, x) \quad 1 \leq n \leq 4 \quad (2.2.25)$$

(2.2.25) denklemindeki θ_n değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
 \theta_1(\lambda_k, x) &= \frac{1}{4\lambda_k^3} \left[\sin\lambda_k x \cosh\lambda_k x - \cos\lambda_k x \sinh\lambda_k x \right] \\
 \theta_2(\lambda_k, x) &= \frac{1}{2\lambda_k^2} \left[\sin\lambda_k x \sinh\lambda_k x \right] \\
 \theta_3(\lambda_k, x) &= \frac{1}{2\lambda_k} \left[\sin\lambda_k x \cosh\lambda_k x + \cos\lambda_k x \sinh\lambda_k x \right] \\
 \theta_4(\lambda_k, x) &= \cos\lambda_k x \cos\lambda_k x
 \end{aligned} \tag{2.2.26}$$

Evvélce bahsedildiği gibi her çeşit yük, enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarında tekil kuvvete indirgenebilir.

Boyuna elemanların uç noktalarından $n = a_n$ uzaklığındaki P^n tekil yükünün Laplace transformu şoyledir :

$$F(s) = P^n \cdot e^{-a_n s}$$

Ayrıca,

$$\begin{aligned}
 L^{-1} \left[e^{-a_n s} s^{n-1} Q(s, \lambda_k) \right] &= 0 \quad x < a_n \\
 &= \theta_n(\lambda_k, (x-a_n)) \quad x \geq a_n
 \end{aligned} \tag{2.2.27}$$

Kolay olması bakımından P kuvvetlerini P_i^n şeklinde gösterelim. Burada i boyuna elemanın numarasını, n de $n = 0$ 'dan başlamak üzere enine elemanın numarasını gösterebiliriz.

Bundan başka ;

$$\sum_{n=1}^N P_i^n \theta_1(\lambda_k, (x-a_n)) = P_{ik}^0(n) \tag{2.2.28}$$

alalım.

Böylelikle (2.2.22), (2.2.23), (2.2.24), (2.2.27) ve (2.2.29) denklemlerinden yararlanılarak ters yük transformu şu şekilde elde edilebilir.

$$W_i(n) = \bar{\lambda} L_{jk}^i P_{jk}^0 \quad (2.2.29)$$

İki boyuna elemanlı durum için (2.2.29) denklemini şu şekilde genişletmek mümkündür.

$$\begin{aligned} W_1(x) &= \bar{\lambda} \left[L_{11}^1 P_{11}^0 + L_{12}^1 P_{12}^0 + L_{21}^1 P_{21}^0 + L_{22}^1 P_{22}^0 \right] \\ W_2(x) &= \bar{\lambda} \left[L_{11}^2 P_{11}^0 + L_{12}^2 P_{12}^0 + L_{21}^2 P_{21}^0 + L_{22}^2 P_{22}^0 \right] \end{aligned}$$

Burada

$$\begin{aligned} L_{11}^1 &= 4 \frac{4}{1} - B_{22} & L_{11}^2 &= -4 \frac{4}{1} A_{21} \\ L_{12}^1 &= -4 \frac{4}{2} - B_{22} & L_{12}^2 &= 4 \frac{4}{2} A_{21} \\ L_{21}^1 &= -4 \frac{4}{1} A_{12} & L_{21}^2 &= 4 \frac{4}{1} - B_{11} \\ L_{22}^1 &= 4 \frac{4}{2} A_{12} & L_{22}^2 &= -4 \frac{4}{2} - B_{11} \end{aligned} \quad (2.2.30)$$

Sınır şartlarının ters transformu ; (2.2.20) denkleminin sağ tarafını oluşturan ikinci bölüm olan sınır şartlarının ters transformunu inceleyelim.

$$\begin{aligned} L^{-1} \left\{ G(s) \left[A(s^4 + \frac{B_{22}}{A}) \sum_{m=1}^3 s^{3-m} D_1^m \right. \right. \\ \left. \left. + A_{12} B_{22} \sum_{m=1}^3 s^{3-m} D_2^m \right] \right\} \end{aligned} \quad (2.2.31)$$

(2.2.23), (2.2.24), (2.2.25) ve (2.2.31) denklemlerinden yararlanılarak

$$\bar{\lambda} \sum_{m=1}^3 (\Psi_{11}^{m0}(x) D_1^m + \Psi_{12}^{m0}(x) D_2^m) = \bar{\lambda} \sum_{i=1}^m \Psi_{1i}^{m0}(x) D_i^m \quad (2.2.32)$$

denklemini yazılır. Burada ;

$$\begin{aligned} \psi_{11}^{m0} &= A^4 (\lambda_1^4 \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x) - \lambda_2^4 \theta_{(4-m)}(\lambda_2, x)) \\ &+ \frac{B_{22}}{A} (\theta_{(4-m)}(\lambda_2, x) - \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x)) \\ \psi_{12}^{m0} &= A_{12} B_{22} (\theta_{(4-m)}(\lambda_2, x) - \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x)) \end{aligned} \quad (2.2.23)$$

indisler değiştirilerek ikinci boyuna eleman için ters transform hemen yazılır.

$$\bar{\lambda} \sum_{m=1}^3 (\psi_{21}^{m0}(x) D_1^m + \psi_{22}^{m0}(x) D_2^m) = \bar{\lambda} \psi_{2j}^{m0}(x) D_j^m \quad (2.2.24)$$

Burada da,

$$\begin{aligned} \psi_{21}^{m0} &= \bar{A}_{21} B_{11} [\theta_{(4-m)}(\lambda_2, x) - \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x)] \\ \psi_{22}^{m0} &= \bar{A}^4 (\lambda_1^4 \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x) - \lambda_2^4 \theta_{(4-m)}(\lambda_2, x)) \\ &+ \frac{B_{11}}{\bar{A}} (\theta_{(4-m)}(\lambda_2, x) - \theta_{(4-m)}(\lambda_1, x)) \end{aligned} \quad (2.2.25)$$

Çökme denklemi (2.2.29) ve (2.2.32) ve (2.2.33) denklemlerinde şu şekilde yazılır.

$$\begin{aligned} y_1(x) &= \frac{\bar{\lambda}}{A} [L_{jk}^1 P_{jk}^0(x) + D_j^m \psi_{1j}^{m0}(x)] \\ y_2(x) &= \frac{\bar{\lambda}}{A} [L_{jk}^2 P_{jk}^0(x) + D_j^m \psi_{2j}^{m0}(x)] \end{aligned} \quad (2.2.26)$$

en genel hal için aşağıdaki ifadeleri bilmek gerekir.

$$\frac{d^\alpha}{dn^\alpha} P_{jk}^0(x) = P_{jk}^\alpha(x) \quad (2.2.27)$$

$$\frac{d^{\alpha}}{dx^{\alpha}} \Psi_{ij}^{m0} = \Psi_{ij}^{m\alpha} \quad (2.2.38)$$

Eğer $(-m+\alpha) = (-m^1 + \alpha^1)$ ise

$$\Psi_{ij}^{m\alpha} = \Psi_{ij}^{m^1\alpha^1}$$

yazılabilir.

D_j^m 'in çözümü için altı tane sınır şartı sağlanmalıdır. $Y_1(L) = Y_2(L) = 0$ alınarak (2.2.36) denkleminde aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$\begin{aligned} [L_{jk}^1 P_{jk}^0(x) + D_j^m \Psi_{1j}^{m0}(x)] &= 0 \\ [L_{jk}^2 P_{jk}^0(x) + D_j^m \Psi_{2j}^{m0}(x)] &= 0 \end{aligned} \quad (2.2.39)$$

$x=0$ daki eğimler aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\bar{A}}{\lambda} D_1^1 = L_{jk}^1 P_{jk}^1(0) + D_j^m \Psi_{ij}^{m1}(0)$$

$$\frac{\bar{A}}{\lambda} D_2^1 = L_{jk}^2 P_{jk}^1(0) + D_j^m \Psi_{2j}^{m1}(0)$$

veya

$$L_{jk}^1 P_{jk}^1(0) + D_j^m \Psi_{1j}^{m1}(0) = 0$$

$$L_{jk}^2 P_{jk}^1(0) + D_j^m \Psi_{2j}^{m1}(0) = 0$$

(2.2.40)

Benzer şekilde yine (2.2.36) denkleminde,

$$\frac{\bar{A}}{\lambda} D_1^1 = L_{jk}^1 P_{jk}^1(L) + D_j^m \Psi_{4j}^{m1}(L)$$

$$\frac{\bar{A}}{\lambda} D_2^1 = L_{jk}^2 P_{jk}^1(L) + D_j^m \Psi_{2j}^{m1}(L) \quad (2.2.41)$$

Yukardaki denklemler yazılabilir. Bu denklemlerde D_1^1 ve D_2^1 $n=L$ 'deki eğimi gösterir. Çökmenin ikinci türevinin tanımından da (2.2.36) denklemi şu şekli alır

$$L_{jk}^1 P_{jk}^2(o) + D_j^m \psi_{ij}^{m_2}(o) = 0$$

$$L_{jk}^2 P_{jk}^2(o) + D_j^m \psi_{2j}^{m_2}(o) = 0 \quad (2.2.42)$$

($n=L$) deki şartlar da şu şekilde tarif edilir.

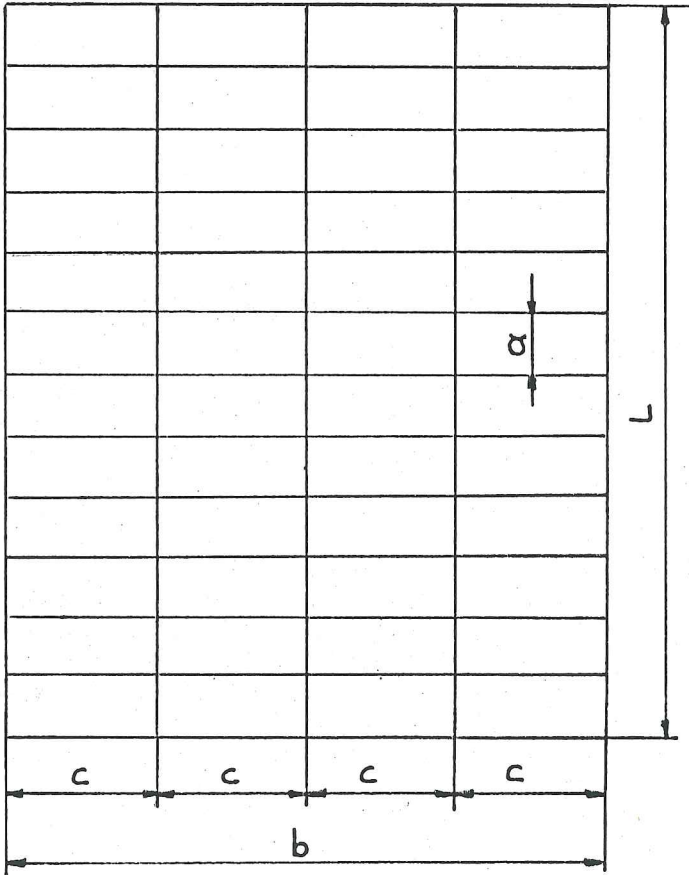
$$L_{jk}^1 P_{jk}^2(L) + D_j^m \psi_{1j}^{m_2}(L) = \frac{\bar{A}}{\lambda} \bar{D}_1^2$$

$$L_{jk}^2 P_{jk}^2(L) + D_j^m \psi_{2j}^{m_2}(L) = \frac{\bar{A}}{\lambda} \bar{D}_2^2$$

BÖLÜM 3 - NÜMERİK ÖRNEKLER

Bu bölümde daha önce yapılan teorik çalışmalara ait nümerik örnekler verilecektir. Birinci örnek Referans 3 den alınıp birimleri ISO'ya göre değiştirilmiştir. İkinci örnek boyutları verilmiş bir gemi dip yapısının hesaplarıdır. Dış yapı elemanları Det Norske Veritas kuralları ile karşılaştırılmıştır.

1. Referans [3] ten alınan bu örnekte birimler ISO'ya göre değiştirilmiştir.



$$a = 0.66 \text{ m.}$$

$$b = 7.315 \text{ m.}$$

$$c = 1.828 \text{ m.}$$

$$L = 7.924 \text{ m.}$$

$$I_e = 2.539 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_b = 8.015 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$q = 105.44 \text{ kN/m}^2$$

I.1. Yönteme göre bulunan boyuna elemanların ankastrelik momentleri ;

$$\text{Ortadaki boyuna eleman : } M_1 = 1081.43 \text{ kN/m.}$$

$$\text{Yanlardaki boyuna eleman: } M_2 = 806.06 \text{ kN/m.}$$

I.2. Yöntemle bulunan sonuçlar :

$$M_1 = 1096,14 \text{ kN m.}$$

$$M_2 = 840.93 \text{ kN m.}$$

III. Referans 2 de verilen, Schade'nin sonuçları :

$$M_1 = 1082.8 \text{ kN m.}$$

$$M_2 = 766.02 \text{ kN m.}$$

2. Boyutları verilen bir gemi dip yapısının çözümü :

$$a = 3.5 \text{ m.}$$

$$b = 13 \text{ m.}$$

$$c = 3.25 \text{ m.}$$

$$I_e = 3.3412 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{\text{orta}} = 0.021$$

$$I_{\text{yan}} = 0.0209$$

$$q = 52 \text{ kN/m}^2$$

Taşıma oranları :

$$X_1 = 0.848681$$

$$X_2 = 0.658494$$

$$X_3 = 0.559491$$

$$X_4 = 0.999$$

$$X_5 = 0.921593$$

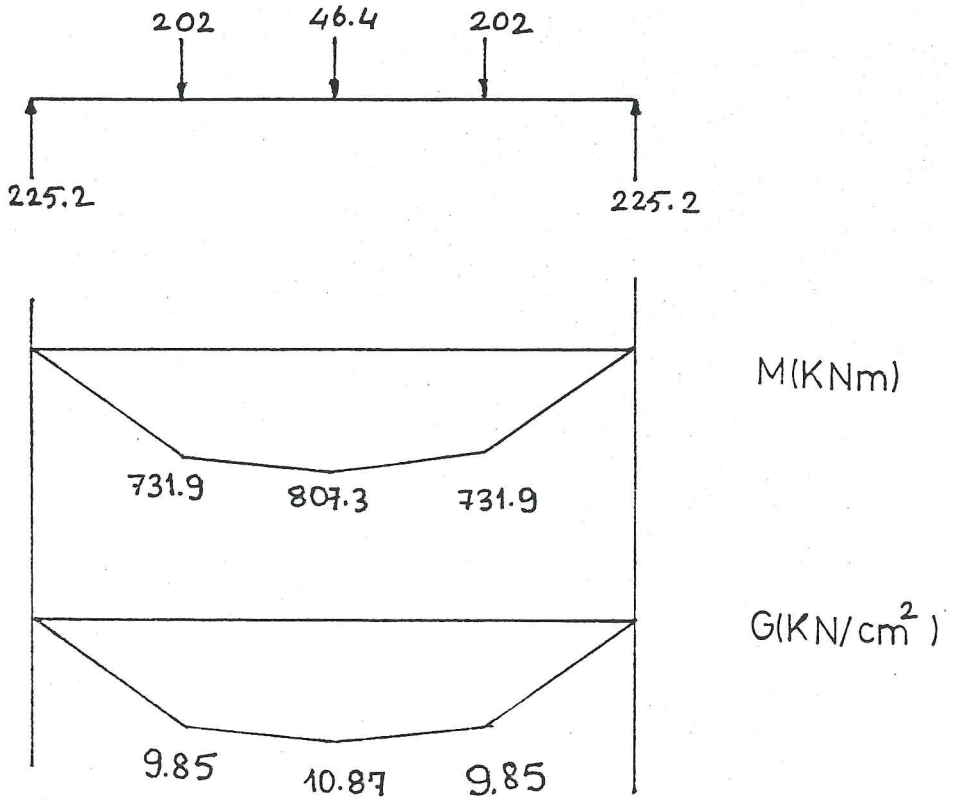
$$X_6 = 0.32085$$

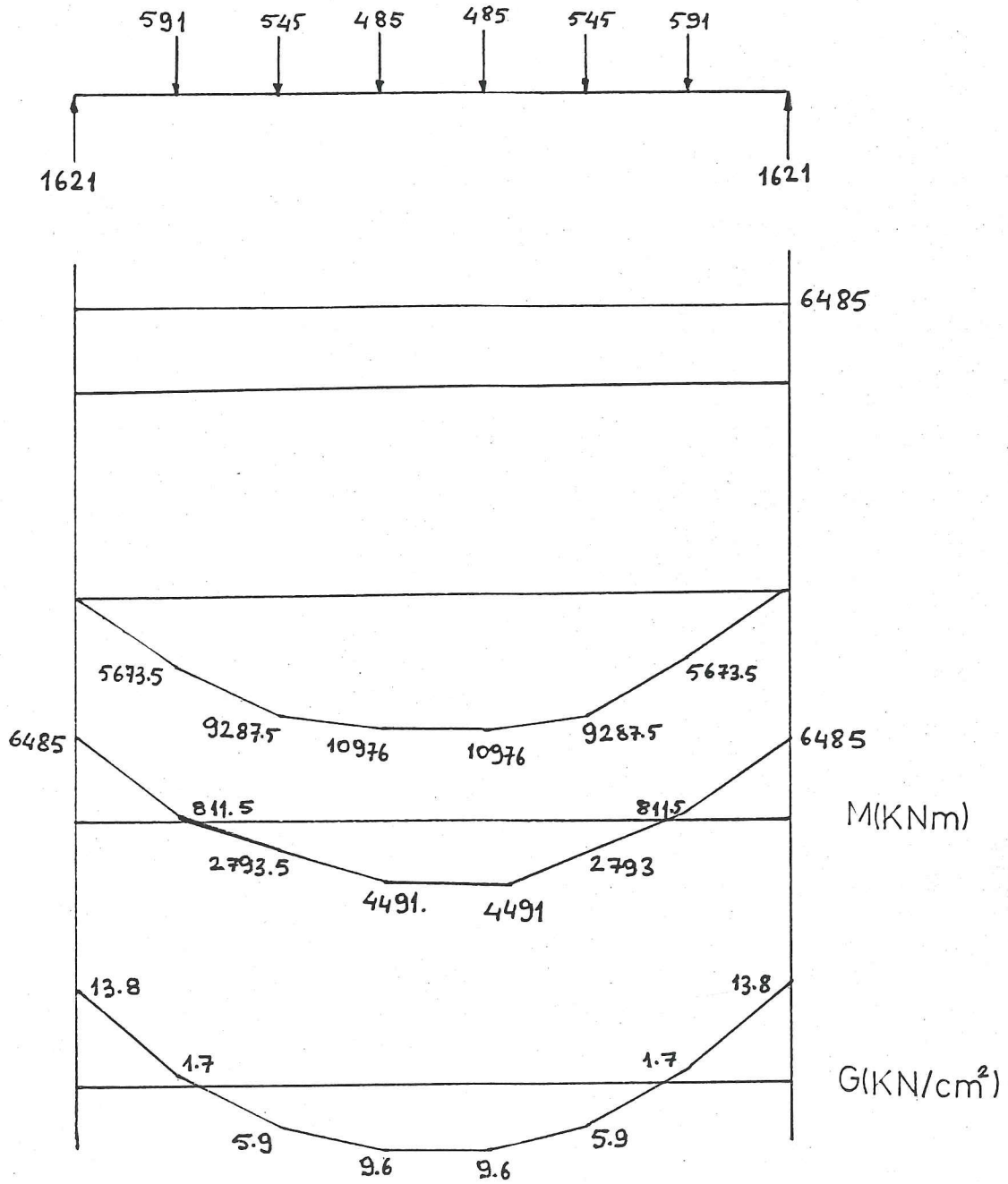
Boyuna elemanların ankastrelik momentleri :

$$M_{\text{orta}} = 6485,2 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{yan}} = 5438,8 \text{ kNm}$$

Elemanlar üzerindeki moment ve gerilme dağılışı.





BÖLÜM 4 - SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemi dip yapısının hesabı için yapılan ızgara sistem analizinde gerilmeler, Det Norske Veritas'ın 1986 kurallarında dip yapı için verilen gerilmelerden ortada % 12 yan tülânilerde ise % 25 daha azdır. Böylece görülmüyor ki yan ve orta iç tülânilerde mukavemet momenti aynı oranda azaltılabilir. Yani elemanların boyutları küçültülebilir ve gemi dip ağırlığı azaltılabilir.

Klas kuruluşları, kendi kuralları dışında, verdikleri dizayn yükleri ve müsaade ettikleri gerilmeleri kullanmak koşulu ile yapılan hesaplamaları kabul etmektedirler. Bu nedenle bu hesap yolu kullanılarak gemi dip yapısı boyutlandırılabilir.

Hazırlanan programlar kullanılırken şunlara dikkat edilmelidir. Her iki programda bilinmeyenleri bulurken katsayılar matrisi oluşturup çözmektedir. Izgara sistemi oluşturan elemanların sayısı arttıkça katsayılar matrisi de büyümektedir. Bilgisayar normal modda kullanılırken çıkan sonuçlarda duyarlılığın az olması nedeniyle çeşitli hatalar olabilir. Bu nedenle program ve yöntem üzerinde çıkan sonuçları değerlendirmek açısından tecrübesi az olanların veya ilk kez kullanacak olanların çift incelikli modda çalışmasında yarar vardır.

```

10 DIM A(10,10),C(10),X(4),IN(4)
20 INPUT "PANEL GENISLIGI=";BP
30 LPRINT "PANEL GENISLIGI=";BP
40 INPUT "PANEL BOYU=";LP
50 LPRINT "PANEL BOYU=";LP
60 INPUT "STIFNER SAYISI=";N
70 LPRINT "STIFNER SAYISI=";N
80 INPUT "STIFNER ARASI MESAFE=";AS
90 LPRINT "STIFNER ARASI MESAFE=";AS
100 INPUT "STIFNER ATALET MOMENTI=";IS
110 LPRINT "STIFNER ATALET MOMENTI=";IS
120 INPUT "MERKEZ GORDER ATALET MOMENTI=";IG1
130 LPRINT "MERKEZ GORDER ATALET MOMENTI=";IG1
140 INPUT "VAN GORDER ATALET MOMENTI=";IG2
150 LPRINT "VAN GORDER ATALET MOMENTI=";IG2
160 INPUT "GORDER ARASI MESAFE=";CG
170 LPRINT "GORDER ARASI MESAFE=";CG
180 INPUT "GUVORTE YUKU=";Q
190 LPRINT "GUVORTE YUKU=";Q
200 INPUT "ELASTISITE KATSAYISI=";E
210 LPRINT "ELASTISITE KATSAYISI=";E
220 ALFA11=BP^3/(48*(E*IS))
230 ALFA22=4*CG^3/(3*(E*IS))
240 ALFA12=22*CG^3/(12*(E*IS))
250 ALFA21=11*CG^3/(12*(E*IS))
260 A11=E*IG1*AS*ALFA11
270 A12=E*IG1*AS*ALFA12
280 A21=E*IG2*AS*ALFA21
290 A22=E*IG2*AS*ALFA22
300 IF A11=0 OR A22=0 THEN 330
310 ABAR=(A11*A22-A12*A21)/(A11*A22)
320 GOTO 340
330 ABAR=1
340 B=(A11+A22)/(A11*A22-A12*A21)
350 C=1/(A11*A22-A12*A21)
360 LAM1=((B+((B^2-4*C)^.5))/B)^.25
370 LAN2=((B-((B^2-4*C)^.5))/B)^.25
380 LBAR=1/(4*(LAM1^4-LAN2^4))
390 ABAR12=A12/A11
400 ABAR21=A21/A11
410 B11=1/A11
420 B22=1/A22
430 L111=4*LAM1^4-B22
440 L112=-4*LAN2^4+B22
450 L121=-4*LAM1^4*ABAR12
460 L122=4*LAN2^4*ABAR12
470 L211=-4*LAM1^4*ABAR21
480 L212=4*LAN2^4*ABAR21

```

```

490 L221=4*LAM1^4-R11
500 L222=-4*LAM2^4+R11
510 DEF FNSINH(X)=.5*(EXP(X)-EXP(-X))
520 DEF FNCOSH(X)=.5*(EXP(X)+EXP(-X))
530 DEF FNSINH(Y)=.5*(EXP(Y)-EXP(-Y))
540 DEF FNCOSH(Y)=.5*(EXP(Y)+EXP(-Y))
550 DEF FNTETA11(X)=.25*(SIN(X)*FNCOSH(X)-COS(X)*FNSINH(X))
560 DEF FNTETA12(Y)=.25*(SIN(Y)*FNCOSH(Y)-COS(Y)*FNSINH(Y))
570 DEF FNTETA21(X)=.5*(SIN(X)*FNSINH(X))
580 DEF FNTETA22(Y)=.5*(SIN(Y)*FNSINH(Y))
590 DEF FNTETA31(X)=.5*(SIN(X)*FNCOSH(X)+COS(X)*FNSINH(X))
600 DEF FNTETA32(Y)=.5*(SIN(Y)*FNCOSH(Y)+COS(Y)*FNSINH(Y))
610 FOR I=N TO 1 STEP-1
620 X=(LP-I*AS)*LAM1
630 Y=(LP-I*AS)*LAM2
640 TOP11=TOP11+FNTETA11(X)
650 TOP21=TOP21+FNTETA21(X)
660 TOP12=TOP12+FNTETA12(Y)
670 TOP22=TOP22+FNTETA22(Y)
680 NEXT I
690 D1=5*B*LP*AS*BP^3/(384*(E*I5))
700 D2=0*LP*AS*CB*(BP^3-2*BP*CB^2+CB^3)/(24*BP*(E*I5))
710 TTET11=TOP11/LAM1^3
720 TTET21=TOP21/LAM1^2
730 TTET12=TOP12/LAM2^3
740 TTET22=TOP22/LAM2^2
750 P1=D1/(E*(I51*ALFA11))
760 P2=D2/(E*(I62*ALFA22))
770 P011=TTET11*P1
780 P012=TTET12*P1
790 P021=TTET21*P2
800 P022=TTET22*P2
810 P111=TTET21*P1
820 P112=TTET22*P1
830 P121=TTET21*P2
840 P122=TTET22*P2
850 L1P0=L111*P011+L112*P012+L121*P021+L122*P022
860 L1P1=L111*P111+L112*P112+L121*P121+L122*P122
870 L2P0=L211*P011+L212*P012+L221*P021+L222*P022
880 L2P1=L211*P111+L212*P112+L221*P121+L222*P122
890 LL1P0=L1P0*LBAR
900 LL1P1=L1P1*LBAR
910 LL2P0=L2P0*LBAR
920 LL2P1=L2P1*LBAR
930 PS2011=ABAR*(4*(LAM1^4*FNTETA21(LP*LAM1)/(LAM1^2)-LAM2^4*FNTETA22(LP*LAM2)/(
LAM2^2)))+(B22/ABAR)*(FNTETA22(LP*LAM2)/(LAM2^2)-FNTETA21(LP*LAM1)/(LAM1^2)))
940 PS3011=ABAR*(4*(LAM1^4*FNTETA11(LP*LAM1)/(LAM1^3)-LAM2^4*FNTETA12(LP*LAM2)/(
LAM2^3)))+(B22/ABAR)*(FNTETA12(LP*LAM2)/(LAM2^3)-FNTETA11(LP*LAM1)/(LAM1^3)))
950 PS2012=ABAR12*B22*(FNTETA22(LP*LAM2)/(LAM2^2)-FNTETA21(LP*LAM1)/(LAM1^2))
960 PS3012=ABAR12*B22*(FNTETA12(LP*LAM2)/(LAM2^3)-FNTETA11(LP*LAM1)/(LAM1^3))

```

```

970 PS2111=ABAR*(4*(LAN1^4*FNTETA31(LP*LAN1)/(LAN1)-LAN2^4*FNTETA32(LP*LAN2)/(LAN2))+1822/ABAR)*(FNTETA32(LP*LAN2)/(LAN2)-FNTETA31(LP*LAN1)/(LAN1))
980 PS3111=PS2011
990 PS2112=ABAR12*B22*(FNTETA32(LP*LAN2)/(LAN2)-(FNTETA31(LP*LAN1)/(LAN1)))
1000 PS3112=PS2012
1010 PS2021=ABAR21*B11*(FNTETA22(LP*LAN2)/(LAN2^2)-FNTETA21(LP*LAN1)/(LAN1^2))
1020 PS3021=ABAR21*B11*(FNTETA12(LP*LAN2)/(LAN2^3)-FNTETA11(LP*LAN1)/(LAN1^3))
1030 PS2022=PS2011
1040 PS3022=PS3011
1050 PS2121=ABAR21*B11*(FNTETA32(LP*LAN2)/(LAN2)-FNTETA31(LP*LAN1)/(LAN1))
1060 PS3121=PS2021
1070 PS2122=PS2111
1080 PS3122=PS2011
1090 A(1,1)=LBAR*PS2011
1100 A(1,2)=LBAR*PS3011
1110 A(1,3)=LBAR*PS2012
1120 A(1,4)=LBAR*PS3012
1130 C(1)=(-1)*LL1P0
1140 A(2,1)=LBAR*PS2111
1150 A(2,2)=LBAR*PS3111
1160 A(2,3)=LBAR*PS2112
1170 A(2,4)=LBAR*PS3112
1180 C(2)=(-1)*LL1P1
1190 A(3,1)=LBAR*PS2021
1200 A(3,2)=LBAR*PS3021
1210 A(3,3)=LBAR*PS2022
1220 A(3,4)=LBAR*PS3022
1230 C(3)=(-1)*LL2P0
1240 A(4,1)=LBAR*PS2121
1250 A(4,2)=LBAR*PS3121
1260 A(4,3)=LBAR*PS2122
1270 A(4,4)=LBAR*PS3122
1280 C(4)=(-1)*LL2P1
1290 FOR I=1 TO 4:IN(I)=1:NEXT I
1300 PRINT:PRINT:PRINT"KATSAYILAR MATRISI"
1310 FOR I=1 TO 4
1320 FOR J=1 TO 4
1330 PRINT USING"#####.##";A(I,J);
1340 NEXT J
1350 PRINT USING"###.#####";C(I)
1360 NEXT I
1370 FOR K=1 TO 3
1380 GOSUB 1690
1390 FOR I=K+1 TO 4
1400 T=A(I,K)/A(K,K)
1410 FOR J=K TO 4
1420 A(I,J)=A(I,J)-T*A(K,J)
1430 NEXT J

```



```

1440 C(I)=C(I)-T*C(K)
1450 NEXT I
1460 NEXT K
1470 PRINT:PRINT "ELIMINE KATSAYILAR MATRISI"
1480 FOR I=1 TO 4
1490 FOR J=1 TO 4
1500 PRINT USING "#####.##";A(I,J);
1510 NEXT J
1520 PRINT USING "  ##.#####";C(I)
1530 NEXT I
1540 X(IN(4))=C(4)/A(4,4)
1550 FOR K=3 TO 1 STEP -1
1560 TEMP=0
1570 FOR J=K+1 TO 4
1580 TEMP=TEMP+A(K,J)*X(IN(J))
1590 NEXT J
1600 X(IN(K))=(C(K)-TEMP)/A(K,K)
1610 NEXT K
1620 REM
1630 MOM1=E*IG1*X(1)
1640 MOM2=E*IG2*X(3)
1650 PRINT "ANKASTRELİK MOMENTLER"
1660 PRINT "M1=";MOM1
1670 PRINT "M2=";MOM2
1680 END
1690 FOR H=K TO 4
1700 IF ABS(A(K,K))>ABS(A(H,K)) THEN 1750
1710 FOR H=K TO 4
1720 SWAP A(H,H),A(K,H)
1730 NEXT H
1740 SWAP C(H),C(K)
1750 NEXT H
1760 RETURN

```

```

10 DIS
20 INPUT "YATAY KIRIS SAYISI=";YKS
30 LPRINT "YATAY KIRIS SAYISI=";YKS
40 INPUT "DUSEY KIRIS SAYISI=";DKS
50 LPRINT "DUSEY KIRIS SAYISI=";DKS
60 INPUT "DUSEY KIRIS ARASI MESAFE=";A
70 LPRINT "DUSEY KIRIS ARASI MESAFE=";A
80 INPUT "DUSEY ARALIK SAYISI=";AS
90 LPRINT "DUSEY ARALIK SAYISI=";AS
100 INPUT "YATAY ARALIK SAYISI=";VAS
110 LPRINT "YATAY ARALIK SAYISI=";VAS
120 INPUT "YATAY KIRIS ARASI MESAFE=";B
130 LPRINT "YATAY KIRIS ARASI MESAFE=";B
140 INPUT "DUSEY KIRIS ATALET MOMENTI=";IDK
150 LPRINT "DUSEY KIRIS ATALET MOMENTI=";IDK
160 DIM A(YKS,DKS,DKS),B(DKS,YKS,YKS),AM(YKS)
170 FOR I=1 TO YKS
180 INPUT "YATAY KIRIS ATALET MOMENTI=";AM(I)
190 LPRINT "YATAY KIRIS ATALET MOMENTI=";AM(I)
200 NEXT I
210 FOR I=1 TO YKS
220 FOR J=1 TO DKS
230 FOR N=1 TO DKS
240 MSOL=J*A*(AS-J)^2/AS^2
250 RMSOL=MSOL*AS*A/(3*AM(I))
260 FMSOL=RMSOL*N*A-(1/AM(I))*((YMSOL*N*A)*N*A*.5+((MSOL-YMSOL)*N^2*A^2/3))
270 MSAG=J^2*(AS-J)*A/AS^2
280 RMSAG=MSAG*AS*A/(6*AM(I))
290 YMSAG=N*MSAG/(AS*AM(I))
300 FMSAG=RMSAG*N*A-YMSAG*N*N*A*A/6
310 ABAR=(AS-J)*J*A/(AS*AM(I))
320 RP=(1/AS)*((ABAR*J^2*A/6+ABAR*J*(AS-J)*A/2+ABAR*(AS-J)^2*A/3)
330 FPSOL=YPSOL*N^2*A^2/6
340 FPSAG=ABAR*J*A*.5*(J*A/3+(N-J)*A)+YPSAG*(N-J)^2*A^2*.5+(ABAR-YPSAG)*(N-J)^2*
A^2/3
350 IF N>J THEN 380
360 FP1=RP*N*A-FPSOL
370 GOTO 390
380 FP2=RP*N*A-FPSAG
390 IF N>J THEN 420
400 A(I,J,N)=FP1-FMSOL-FMSAG
410 GOTO 430
420 A(I,J,N)=FP2-FMSOL-FMSAG
430 NEXT N
440 NEXT J
450 NEXT I
460 FOR I=1 TO DKS
470 FOR J=1 TO YKS
480 FOR N=1 TO YKS
490 BBAR=(VAS-J)*J*B/(VAS*IDK)
500 RI=(BBAR*J^2*B/6+BBAR*J*(VAS-J)*.5*B+BBAR*(VAS-J)^2*B/3)/VAS
510 YBSOL=N*BBAR/J
520 FBSOL=YBSOL*N^2*B^2/6
530 YBSAG=(1-1)*(N-J)*BBAR/(VAS-J)+BBAR

```



```

540 FESAG=BBAR*(J*B/2*(J*B/3+(N-J)*B)+YBSAG*(N-J)^2*B^2*.5+(BBAR-YBSAG)*(N-J)^2*B
^2/3
550 FP1=R1*N*B-FBSOL
560 FP2=R1*N*B-FESAG
570 IF N>J THEN 600
580 B(I,J,N)=FP1
590 GOTO 610
600 B(I,J,N)=FP2
610 NEXT N
620 NEXT J
630 NEXT I
640 FOR I=1 TO YKS
650 FOR J=1 TO DKS
660 FOR N=1 TO DKS
670 PRINT USING" A(## ## ##)= ";I,J,N;
680 PRINT A(I,J,N)
690 NEXT N
700 NEXT J
710 NEXT I
720 FOR I=1 TO DKS
730 FOR J=1 TO YKS
740 FOR N=1 TO YKS
750 PRINT USING" B(## ## ##)= ";I,J,N;
760 PRINT B(I,J,N)
770 NEXT N
780 NEXT J
790 NEXT I
800 N = YKS: M = DKS
810 DIM C(N, M)
820 KOD = 0
830 J = 0: I = 1
840 J = J + 1: IF J (<= N / 2 + .5 THEN GOTO 850 ELSE I = I + 1: J = 1
850 IF I (<= N / 2 + .5 THEN GOTO 860 ELSE GOTO 920
860 KOD = KOD + 1
870 C(I, J) = KOD
880 C(I, M - J + 1) = KOD
890 C(N - I + 1, J) = KOD
900 C(N - I + 1, M - J + 1) = KOD
910 GOTO 840
920 DIM IKI(KOD), KAT(KOD, KOD)
930 NUM = 0
940 FOR I = 1 TO YKS
950 FOR J = 1 TO DKS
960 IF I=1 AND J=1 THEN GOTO 1020
970 FOR II = 1 TO I
980 FOR JJ = 1 TO J
990 IF I=II AND J=JJ THEN GOTO 1010
1000 IF C(I,J) = C(II,JJ) THEN GOTO 1110
1010 NEXT JJ, II
1020 NUM=NUM+1
1030 IKI(NUM)=0
1040 FOR II=1 TO YKS
1050 IKI(NUM)=IKI(NUM)+B(J,II,I)
1060 KAT(NUM,C(II,J))=KAT(NUM,C(II,J))+B(J,II,I)
1070 NEXT II

```

```

1080 FOR JJ=1 TO NKS
1090 KAT(NUM,C(I,JJ))=KAT(NUM,C(I,JJ))+A(I,JJ,J)
1100 NEXT JJ
1110 NEXT J,I
1120 FOR I=1 TO KOD
1130 FOR J=1 TO KOD
1140 PRINT USING "###.##";KAT(I,J);
1150 NEXT J
1160 PRINT "=";PRINT IKI(I)
1170 NEXT I
1180 DIM X(KOD),IN(KOD)
1190 FOR I=1 TO KOD:IN(I)=1:NEXT I
1200 FOR K=1 TO KOD-1
1210 REM GOSUB 1430
1220 FOR I=K+1 TO KOD
1230 T=KAT(I,K)/KAT(K,K)
1240 FOR J=K TO KOD
1250 KAT(I,J)=KAT(I,J)-T*KAT(K,J)
1260 NEXT J
1270 IKI(I)=IKI(I)-T*IKI(K)
1280 NEXT I
1290 NEXT K
1300 PRINT :PRINT "ELIMINE KATSAYILAR MATRISI ":PRINT
1310 FOR I=1 TO KOD
1320 FOR J=1 TO KOD
1330 PRINT USING "####.##";KAT(I,J);
1340 NEXT J
1350 PRINT "=";PRINT IKI(I)
1360 NEXT I
1370 X(IN(KOD))=IKI(KOD)/KAT(KOD,KOD)
1380 FOR K=KOD-1 TO 1 STEP -1
1390 TEMP=0
1400 FOR J=K+1 TO KOD
1410 TEMP=TEMP+KAT(K,J)*X(IN(J))
1420 NEXT J
1430 X(IN(K))=(IKI(K)-TEMP)/KAT(K,K)
1440 NEXT K
1450 PRINT :PRINT "TASIMA ORANLARI":PRINT
1460 FOR I=1 TO KOD :LPRINT USING "X(##)=#.#####";I,X(I):NEXT I
1470 END
1480 FOR L=K TO KOD
1490 IF ABS(KAT(K,K)) > ABS(KAT(L,K)) THEN 1540
1500 FOR Q=K TO KOD
1510 SWAP KAT(L,Q),KAT(K,Q)
1520 NEXT Q
1530 SWAP IKI(L),IKI(K)
1540 NEXT L
1550 RETURN

```

KAYNAKLAR

- [1] DET NORSKE VERITAS, (1986), Rules for classification of Steel Ships.
- [2] INAN, M., (1981), Cisimlerin Mukavemeti.
- [3] MICHELSEN, F.C. ve NIELSEN, R., Analysis of Grillage Structures by means of the Laplace Transform, (1962), Schiffstechnik, Band 9, Heft 49.
- [4] ÖZALP, T., (1977), Gemi Yapısı ve Elemanları.
- [5] RÖHL, O., Berechnung von Systemen Gekreuzter Träger, Handbuch der Werften, (1967), Band IX.
- [6] SAVCI, M., (1980), Gemi Kirişleri Mukavemeti.

Ö Z G E Ç M İ Ş

1962 yılında Samsun'da doğan Ertekin BAYRAKTAR - KATAL, İlk, Orta ve Liseyi Samsun'da bitirdikten sonra İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi'ni 1980 yılında kazandı. 1984 yılı Haziran ayında mezun olduktan sonra aynı yıl Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevini yürütmekte olan Ertekin BAYRAKTARKATAL evlidir.