

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ DİP YAPISININ DENEYSEL VE IZGARA
SİSTEM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Gökhan Tansel TAYYAR

Anabilim Dalı: Gemi İnşaat Mühendisliği

Programı: Gemi İnşaat Mühendisliği

Tez Danışmanı: Y.Doç.Dr. Ertekin BAYRAKTARKATAL

MAYIS 2002

**GEMİ DİP YAPISININ DENEYSEL VE IZGARA
SİSTEM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Gökhan Tansel TAYYAR**

508001104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Mayıs 2002

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Ertekin BAYRAKTARKATAL

Diğer Jüri Üyeleri : Doç Dr. Ömer BELİK (ITU)

Doç.Dr. Ahmet ERGİN (ITU)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada bana değerli fikirleri ile yol gösteren sayın hocamız Y. Doç. Dr. Ertekin Bayraktarkatal'a, çalışmamın deneysel aşamalarında yardımlarını esirgemeyen sayın hocamız Y. Doç. Dr. Yalçın Ünsan'a, hayatındaki okuma azmi ile bana güç veren rahmetli amcam Müh. Mustafa Fevzi Tayyar'a teşekkürlerimle.

Gökhan Tansel TAYYAR

Mayıs 2002

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. IZGARA SİSTEM ANALİZİ	3
2.1. Giriş	3
2.2. Çökme yöntemi ile ızgara sistem analizi	4
2.2.1. Kirişlerin çeşitli yükleme durumlarında incelenmesi	4
2.2.1.a. Düzgün yayılı yük altında kiriş	6
2.2.1.b Tekil kuvvetler altında kiriş	12
2.3. Çözüm yöntemi	24
2.3.1 Boyuna Elemanlarda Tekil Kuvvetlere Bağlı Olan Çökme Denklemi	27
2.3.1.a (i,1) noktasında P ve R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi	28
2.3.1.b (i,j) noktasında P ve R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi	32
2.3.2 Enine elemanların çökme denklemleri	37
2.3.2.a. (1,j) noktasında R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi	37
2.3.2.b. (i,j) noktasında R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi	40
2.3.3 Boyuna Elemanlarda Düzgün Yayılı Yüke Bağlı Olan Çökme Denklemi	43
2.3.4 Denklemlerin Düzenlenmesi ve Çözümü	44
2.3.5 Momentlerin ve Gerilmelerin Hesaplanması	44
2.3.5.a Boyuna Elemanlardaki Moment ve Gerilmeler	44
2.3.5.b Enine Elemanlardaki Moment ve Gerilmeler	46
3. DENEYSEL UYGULAMA	47
3.1 Modelin Oluşturulması	47
3.1.1 Profillerin Birleştirilmesi	49
3.1.1.a. Uygulama	49
3.1.2 Strain Gauge Rozetlerinin Yapıştırılması	54
3.1.2.a. Ölçme Yöntemi	56
3.1.2.b. Strain-Gauge Rozetlerinin Profiller Üzerine Yapıştırılması	59
3.1.3 Kablo Bağlantıları	67
3.1.4 Sınır Şartlarının Oluşturulması	68
3.1.5 Deneyin Yapılması	72

4. SAYISAL ÇALIŞMA	78
4.1 Çökme Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar	78
4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar	80
5. KARŞILAŞTIRMALAR	81
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	90
KAYNAKLAR	92
EKLER	94
ÖZGEÇMİŞ	132

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Kontrol noktalarının sistem üzerindeki yerleri.....	66
Tablo 3.2. Boyuna elemanlar ankastre mesnet olduğu durumda yapılan deneyler.....	75
Tablo 3.3. Boyuna elemanlar basit mesnet olduğu durumda yapılan deneyler.	76
Tablo 3.4. Ölçme aletinden okunan değerler.....	77
Tablo 5.1. Tam yükleme durumunda meydana gelen maksimum çökmeler ...	89

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 :Izgara Sistemi.....	4
Şekil 2.2 :Kartezyen koordinatlarındaki doğru eksenli kiriş.....	5
Şekil 2.3 :Her iki ucu ankastre mesnet olan yayılı yük altındaki kiriş.....	6
Şekil 2.4 :Düzgün yayılı yük altındaki ankastre mesnet kirişin serbest cisim diyagramı.....	7
Şekil 2.5 :Her iki ucu basit mesnet olan düzgün yayılı yüklenmiş kiriş.....	9
Şekil 2.6 :Düzgün yayılı yük altındaki basit mesnet kirişin tepki kuvvetleri.....	10
Şekil 2.7 :Tekil kuvvetler altındaki kiriş.....	13
Şekil 2.8 :Orta noktasında P kuvveti etki eden basit kirişin moment dağılımı.....	14
Şekil 2.9 :Her iki ucu ankastre mesnet olan tekil kuvvetler altındaki kiriş.....	15
Şekil 2.10 :Tekil kuvvetler altındaki kirişin serbest cisim diyagramı.....	15
Şekil 2.11 :Ankastre mesnet momentlerinin kiriş moment diyagramına etkisi.....	15
Şekil 2.12 :Kirişin moment diyagramları.....	16
Şekil 2.13 : P_i kuvvetinin oluşturduğu moment dağılımı.....	17
Şekil 2.14 :Her iki ucu basit mesnet olan tekil kuvvetler altındaki kiriş.....	20
Şekil 2.15 :A ve B noktasında oluşan R_A ve R_B tepki kuvvetlerinin ve kiriş üzerindeki n adet tekil kuvvetlerin oluşturacağı moment dağılımları.....	20
Şekil 2.16 : P_i tesir kuvvetinin oluşturduğu moment diyagramı.....	21
Şekil 2.17 :Izgara Sistemi ve Kesişim Noktaları.....	25
Şekil 2.18 :Izgara sistemi üzerindeki 1 numaralı boyuna eleman.....	28
Şekil 2.19 :Izgara sistem üzerindeki j numaralı boyuna eleman.....	32
Şekil 2.20 :Izgara sistem üzerindeki 1 numaralı enine eleman.....	37
Şekil 2.21 :Izgara sistem üzerindeki i numaralı enine eleman.....	40
Şekil 2.22 :j numaralı boyuna eleman.....	43
Şekil 2.23 :Tekil kuvvetler altında j numaralı boyuna eleman.....	45
Şekil 3.1 :Izgara sistem modeli.....	48
Şekil 3.2 :Enine ve boyuna elemanların birleştirme işçiliği.....	50
Şekil 3.3 :Profillerde açılan kanalların gösterimi.....	51
Şekil 3.4 :Kanalların boyutları.....	52
Şekil 3.5 :Profillerin birleşme yerlerinin gösterimi.....	52
Şekil 3.6 :Kullanılan yapıştırıcılar.....	53
Şekil 3.7 :Strain-gauge rozeti.....	54
Şekil 3.8 :SR-4 tipi Strain-Gauge rozeti.....	55
Şekil 3.9 :Wheatstone köprü sistemi.....	56
Şekil 3.10 :Köprü devreleri.....	58
Şekil 3.11 :Ön temizleme işlemi.....	59

Şekil 3.12	:Zımparalama işlemi.....	60
Şekil 3.13	:Son kat temizleme işlemi.....	61
Şekil 3.14	:Rozet ve terminal üzerine bant yapıştırılması.....	61
Şekil 3.15	:Bandın bir ucundan sökölme işlemi.....	62
Şekil 3.16	:Yapıştırıcı sürölmesi işlemi.....	62
Şekil 3.17	:Teflon ve silikon parça konulma işlemi.....	63
Şekil 3.18	:Yaylı mengene ile sıkıştırılma işlemi.....	63
Şekil 3.19	:Üç numaralı rozet.....	64
Şekil 3.20	:Strain-gauge rozetlerinin yerlerinin şematik gösterimi.....	66
Şekil 3.21	:Bir numaralı rozet ve bağlantı terminali.....	67
Şekil 3.22	:Deney setinin üstten görünüşü.....	68
Şekil 3.23	:Enine elemanların bağlantıları.....	69
Şekil 3.24	:Boyuna elemanların bağlantısı.....	69
Şekil 3.25	:Boyuna elemanların mesnet kontrolü.....	70
Şekil 3.26	:Bağlantıların güçlendirilmesi.....	71
Şekil 3.27	:Deney setinin görünüşü.....	71
Şekil 3.28	:Deney seti ve ölçme aleti.....	72
Şekil 3.29	:Ölçme aletinde kullanılan tablo.....	73
Şekil 3.30	:Rozetler için kullanılan ayar düğmeleri.....	73
Şekil 3.31	:“Balance” ayar düğmeleri.....	74
Şekil 3.32	:Yükleme türleri.....	75
Şekil 4.1	:Akış diyagramı.....	79
Şekil 5.1	:Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	81
Şekil 5.2	:Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	82
Şekil 5.3	:Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	83
Şekil 5.4	:Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	83
Şekil 5.5	:İkinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	84
Şekil 5.6	:İkinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	85
Şekil 5.7	:İkinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	85
Şekil 5.8	:İkinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	86
Şekil 5.9	:Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	87
Şekil 5.10	:Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	87
Şekil 5.11	:Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	88
Şekil 5.12	:Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.....	89
Şekil B.1	:Yükleme 1’den elde edilen moment dağılımları.....	93
Şekil B.2	:Yükleme 2’den elde edilen moment dağılımları.....	94
Şekil B.3	:Yükleme 3’den elde edilen moment dağılımları.....	95
Şekil B.4	:Yükleme 4’den elde edilen moment dağılımları.....	96
Şekil B.5	:Yükleme 5’den elde edilen moment dağılımları.....	97
Şekil B.6	:Yükleme 6’dan elde edilen moment dağılımları.....	98
Şekil B.7	:Yükleme 7’den elde edilen moment dağılımları.....	99
Şekil B.8	:Yükleme 8’den elde edilen moment dağılımları.....	100
Şekil B.9	:Yükleme 9’dan elde edilen moment dağılımları.....	101
Şekil B.10	:Yükleme 10’dan elde edilen moment dağılımları.....	102
Şekil B.11	:Yükleme 11’den elde edilen moment dağılımları.....	103
Şekil B.12	:Yükleme 12’den elde edilen moment dağılımları.....	104
Şekil B.13	:Yükleme 13’den elde edilen moment dağılımları.....	105
Şekil B.14	:Yükleme 14’den elde edilen moment dağılımları.....	106
Şekil B.15	:Yükleme 15’den elde edilen moment dağılımları.....	107
Şekil B.16	:Yükleme 16’dan elde edilen moment dağılımları.....	108

Şekil B.17	:Ankastre mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları.....	109
Şekil B.18	:Basit mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları.....	110
Şekil D.1	:Yükleme 1'den elde edilen moment dağılımları.....	121
Şekil D.2	:Yükleme 2'den elde edilen moment dağılımları.....	122
Şekil D.3	:Yükleme 3'den elde edilen moment dağılımları.....	122
Şekil D.4	:Yükleme 4'den elde edilen moment dağılımları.....	123
Şekil D.5	:Yükleme 5'den elde edilen moment dağılımları.....	123
Şekil D.6	:Yükleme 6'dan elde edilen moment dağılımları.....	123
Şekil D.7	:Yükleme 7'den elde edilen moment dağılımları.....	124
Şekil D.8	:Yükleme 8'den elde edilen moment dağılımları.....	125
Şekil D.9	:Yükleme 9'dan elde edilen moment dağılımları.....	125
Şekil D.10	:Yükleme 10'dan elde edilen moment dağılımları.....	126
Şekil D.11	:Yükleme 11'den elde edilen moment dağılımları.....	126
Şekil D.12	:Yükleme 12'den elde edilen moment dağılımları.....	127
Şekil D.13	:Yükleme 13'den elde edilen moment dağılımları.....	127
Şekil D.14	:Yükleme 14'den elde edilen moment dağılımları.....	128
Şekil D.15	:Yükleme 15'den elde edilen moment dağılımları.....	128
Şekil D.16	:Yükleme 16'dan elde edilen moment dağılımları.....	129
Şekil D.17	:Ankastre mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları.....	129
Şekil D.18	:Basit mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları.....	130

SEMBOL LİSTESİ

$C, C_1, \dots$	: İntegrasyon sabitleri
E, E_c	: Elastisite modülleri
I_c, I_s	: Atalet momentleri
M_r, M_y	: Momentler
q	: düzgün yayılı yük
P	: Tekil yük
R	: Destek kuvveti
σ	: Gerilme
ϵ	: Şekil değiştirme oranı
u, v, w	: Yer değiştirme vektörleri
i, j, k	: Birim vektörler
$\overline{Y_s}, \overline{X_i}$	: Moment kolları
$[R]$	: Destek kuvvetlerinden oluşan matris
$[Z]$	: Çökmeleri gösteren matris
$[Z^B]$	: Boyuna elemanlardaki çökmeleri gösteren matris
$[Z^{B(P)}]$	: Boyuna elemanlardaki P kuvvetine bağlı çökmeleri gösteren matris
$[Z^{B(R)}]$	: Boyuna elemanlardaki R kuvvetine bağlı çökmeleri gösteren matris
$[Z^{B(q)}]$	: Boyuna elemanlardaki q yayılı yüküne bağlı çökmeleri gösteren matris
$[Z^E]$	: Enine elemanlardaki çökmeleri gösteren matris
$[K], [K^B], \dots$	: Katsayılar matrisleri
$Z_{\max}$	: Tarafsız eksenenden olan en uzak mesafe
K	: Strain-gauge sabiti
$R_{1,2,\dots}$	: Strain-gauge dirençleri
I	: Akım
U_A, U_E	: Voltajlar
$E_{B-A}, E_{B-C}, \dots$	: Potansiyel farkları

GEMİ DİP YAPISININ DENEYSEL VE IZGARA SİSTEM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Gemi dip yapısında iki perde arasında kalan bölge üzerinde çalışılmış ve yapısal elemanlar üzerindeki moment dağılımları ızgara sistem modellemesi ile çeşitli sınır şartları için incelenmiş ve sonuçları deneysel çalışmalar ile desteklenmiştir.

Genellikle birbirine dik olan, iki ayrı yönde uzanan profil ağından oluşan yapılara ızgara sistemi adı verilir. Bu tür problemlerde yapılacak olan ilk yaklaşım yüklerin bir yöndeki eleman grubu tarafından taşınacağı, diğer grubun ise destek görevi üstleneceğidir.

Bu çalışmada gemilerin dip yapısını oluşturan yapısal elemanlar için statik gerilme analizi yapılmıştır. Merkez omurga, döşekler ve kaplama sacları dip yapıyı oluşturmaktadır. Kaplamaların profiller ile birleşik olmasından ötürü gemi dip yapılarında ızgara sistemi karmaşık bir hal alır. Buradaki sorun kaplama sacının döşek ve tulanilerin üzerini kaplamasıdır. Kaplamalar bir yöndeki elemanların bir parçası olurken aynı zamanda diğer yöndeki elemanların bir parçası olacaktır. Diğer bir sorun ise profillerle birlikte hesaba katılacak olan kaplamanın etkin genişliğinin tayinidir. Elemanların birbirlerine yakın döşenmesi durumunda fazla bir sorun olmamasına karşın birbirlerinden ayrı olan elemanları için etkin genişliğin tayini zorluk çıkartabilecektir. Izgara sisteminde gemi dip yapısını oluşturan elemanlar enine ve boyuna uzanan kirişler olarak iki gruba ayrılmıştır ve kabuller bu elemanların özelliklerine göre yapılmıştır.

Gemi dip yapısı ızgara sistemi olarak enine doğrultuda uzanan dolu döşek ve boyuna doğrultuda uzanan merkez omurga ile yan iç tulanilerden modellenmiştir. Dolu döşeklerin bordalarda postalara bağlı olduğu yerlerde basit mesnet, enine perdelerden sonra devam eden merkez omurga ve tulaniler için ise ankastre mesnet kabulü yapılmıştır. Dip yapısına etki eden kuvvetlerin boyuna elemanlara etki ettiği kabul edilmiştir.

Sayısal çalışmada mevcut sonlu elemanlar paket programı ANSYS kullanılmış ve ayrıca çökme yöntemine göre bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

ANSYS öğrenci versiyonu olan sonlu elemanlar programında BEAM44 elemanı hesaplamalarda kullanılmıştır.

Bir kirişin bir başka kiriş ile birleştirilmesiyle kesişme noktasında R destek kuvveti oluşacak, bu kuvvet destek kirişinde yukarı yönde, diğer kirişte ise aşağı yönde etki edecektir. Profillerin kesişme noktası kadar bilinmeyen destek kuvveti oluşacak,

boyuna doğrultudaki tulanilerin ve enine doğrultudaki dōšekler ayrılarak analiz edilebilecek ve eğilme momenti ile gerilme dağılımları hesaplanabilecektir. Bir kesişme noktasındaki çökme değeri enine ve boyuna eleman için eşit olması kabulüne göre bilinmeyen kuvvetlere bağlı olarak bir denklem oluşturulabilir. bilinmeyen sayısı kadar denklem oluşturularak denklem takımı elde edilir. Yapılan bu temel kabuller sayısal çalışmadaki çökme yönteminin temelini oluşturmaktadır.

Deneysel inceleme için alüminyum profillerden bir ızgara sistemi oluşturulmuştur. Yükleme yapıldığı zaman ızgara sistemi üzerindeki şekil değiştirme oranları modelin üzerine yerleştirilen strain-gauge rozetleri ile ölçölmüştür.

Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görölmüştür. Gemi dip yapılarının analizinde pahalı paket programları yerine çökme yöntemine göre hazırlanan programlar yeterli olmaktadır. Zorluk ve tecrübeler anlatılması ile gemi mukavemetinde deneysel çalışma yapacaklara yardımcı olacaktır.

AN INVESTIGATION INTO SHIPS' BOTTOM STRUCTURES BY EXPERIMENTAL AND GRILLAGE SYSTEM ANALYSIS

SUMMARY

Ships' bottom sections located between adjacent transverse two bulkheads were studied and the moment distribution on structural elements was investigated by using grillage system modelling with various boundary conditions. It is supported by the experimental studies.

Structures consist of a network of stiffeners extending in two different directions, usually at right angles, are called grillage systems. The first approach to such problems is to consider that the load is carried by one set of members, whilst the other set merely acts as a support to the first set.

In this study, for the structural elements that form the ships' bottom structure, a static stress analysis is carried out. The keel, floors and the plating all together form the bottom structure in the grillage system. In ships' structures the grillage problem is complicated by the fact that the stiffening is attached to plating. The difficulty here is that the plating is at the part of a built-up girder extending in one direction and part of a built-up girder extending in a second direction. Another problem to be dealt with in such structures is that of the effective breadth of plating used in conjunction with the stiffeners. This may not be an important matter for closely spaced stiffeners but may be difficult to assess correctly for widely spaced stiffeners. The ship bottom structural elements are grouped as transverse and longitudinal stiffeners and the assumptions are made according to the properties of the elements.

The ship bottom is modeled as a grillage system which consists of transverse solid floors, longitudinal central beam and various side girders. At points where the frames meet the side walls, the simple support assumption is employed and a built-in support is assumed to exist where continuous longitudinal elements join with the transverse bulkheads, in line with the conventional assumptions of the ship structural engineering. The external loads acting on the bottom structure are applied on the longitudinal elements.

In numerical study, the existing finite element package ANSYS is used and also a computer program is developed using the deflection method.

Buy using element Beam44 calculations have been made on ANSYS edition version.

The effect of the attachment of a beam with the other is to generate a support R at the point of intersection and this will act downwards on one beam and upwards on the other. There will be as many unknown support loads as there are intersections between the stiffeners. By determining supports of the transverse member makes at intersections , the longitudinal girders and transverse floors can be analysed in

isolation and the bending moment and stress distributions can be evaluated. Considering that the deflection at a given intersection has to be equal for both the longitudinal and the transverse members, an equation is obtained as a function of the unknown load carrying proportionality constants. A system of equations is set up in which the number of unknowns are equal to the number of equations. These are the fundamental assumption at the basis of deflection method in this numerical study. The solution, leads to a series of linear simultaneous equations.

A grillage model was set up by using aluminium profiles for the experimental investigation. Strain on the grillage system was measured, when load has applied, by strain gauges installed on the model.

When all of the results have been compared, it was observed that they were close to each other. It is unnecessary having expensive packages for ship bottom structural analysis. Programs on the base of deflection method are enough for the analysis. The difficulties and experiences were detailed in order to inform people who will carry out further experimental research on strength of ship structures.

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Gemilerin yapısal analizinde bilgisayar destekli çalışmalar 1950'lerin sonlarında başlar. Bu dönemde iki enine perde arasındaki gemi bloğu üzerinde yapısal modellemelere rastlanmaktadır. Yuille ve Wilson enine sistemde inşa edilmiş tek cidarlı bir geminin iki enine perde arasında ki bloğun enine mukavemetini incelerken ızgara sistem modellemesi kullanmışlar, sistemin perdelerde rijit olduğu kabulü ile sınır şartlarını tespit etmişlerdir. Hesaplamalar için matris metotlarını kullanmışlar ve bilgisayar programı geliştirmeye çalışmışlardır. [1]. Gemi bünyesindeki bu nümerik lokal gerilme analizi çalışmaları devam etmiş ve elde edilen sonuçlar analitik hesaplamalarla karşılaştırılarak geliştirilmeye devam edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Sanad tarafından 1999 ve 2000 yıllarında yapılan çalışmalarında ızgara sisteminin yüksek sıcaklık altındaki davranışlarının deneysel ve nümerik karşılaştırılması yapılmıştır [2]. Bir diğer çalışma ise Paik ve Kim tarafından eksenel, eksenel olamayan ve yanal basınçların etkisi incelenerek deneysel ve sayısal çalışma yapılmıştır [3]. Izgara sistemi gemi inşaat haricinde inşaat sektöründe, özellikle köprü dizaynında kullanılmaktadır. Bu amaçla Rahman ve Gearoge tarafından termal gerilmeler incelenmiştir [4]. Newmark, Peckham ile Miller, Aktan, Shahrooz tarafından yapılan deneysel çalışmalarda büyük deney setleri kurularak incelemelerde bulunulmuştur [5,6].

Yapılan bu çalışma ile gemi dip yapısındaki gerilmeleri incelemek amacıyla kullanılan çeşitli sayısal yöntemlerin incelenmesi ve deneysel kontrolü amaçlanmıştır. Gemi mukavemetinde yapılan deneysel çalışmaların verileri verilmemektedir. Yapılacak olan bu çalışma ile deneysel çalışma sırasında karşılaşılan zorluk ve tecrübelerin aktarılması sağlanarak ileride bu tür çalışma yapacaklara kaynak olması amaçlanmıştır. Bu çalışma ileride yapılacak deneysel çalışmalara ilk adım niteliğindedir.

Bu çalışmada ikinci bölümde gemi dip yapısının ızgara sistemi ile modellenmesi ve çökme yöntemi ile gerilme analizinin elde edilmesi anlatılmıştır. Bu amaçla öncelikle kirişlerin çeşitli yükleme durumlarında ve sınır şartlarında çökme ve moment denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen denklemleri kullanarak boyuna elemanların ankastre mesnet, enine elemanların basit mesnet olduğu durumda kesişim noktalarındaki çökmelerin eşitlenmesiyle lineer denklem takımının oluşturulması anlatılmıştır. Oluşturulan lineer takımın çözülmesiyle moment ve gerilme dağılımlarının elde edilmesi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde deneysel uygulama anlatılmıştır. Deney setinin kurulması ve karşılaşılan zorluklar anlatılmış ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Dördüncü bölümde sayısal hesaplamada kullanılan yöntemler anlatılmış, hazırlanan bilgisayar programı ve sonuçlar eklerde verilmiştir.

Beşinci bölümde sayısal ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada seçilen kontrol noktalarındaki elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar grafik olarak verilmiştir.

Altıncı bölümde yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, çalışmanın geliştirilmesi için gereken adımlar anlatılmış, bu çalışmayı devam ettireceklere ve deneysel olarak çalışacaklara tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. IZGARA SİSTEM ANALİZİ

2.1. Giriş

Genellikle birbirine dik olan, iki ayrı yönde uzanan profil ağından oluşan yapılara ızgara sistemi adı verilir. Bu tür problemlerde yapılacak olan ilk yaklaşım yüklerin bir yöndeki eleman grubu tarafından taşınacağı, diğer grubun ise destek görevi üstleneceğidir [1, 2].

Merkez omurga, döşekler ve kaplama sacları gemi dip yapısını oluşturmaktadır. Izgara sisteminde gemi dip yapısını oluşturan elemanlar enine ve boyuna uzanan kirişler olarak iki gruba ayrılmıştır.

Kaplamaların profiller ile birleşik olmasından ötürü gemi dip yapılarında ızgara sistemi karmaşık bir hal alır. Kaplamalar bir yöndeki elemanların bir parçası gibi çalışırken aynı zamanda diğer yöndeki elemanların bir parçası olarak çalışacaktır, bu durumda oluşan sorun ise profillerle birlikte hesaba katılacak olan kaplamanın etkin genişliğinin tayinidir [2].

Gemi dip yapısında boyuna doğrultuda giden omurgaların perdelerden sonra devam etmesi durumunda boyuna elemanların perde üzerindeki çökme ve dönme değerleri sıfır olacaktır. Bu durumda boyuna elemanların perdeler üzerinde ankastre olarak mesnetlendiği kabul edilir. Enine elemanların mesnet kabulü ise bordaya bağlandıkları elemanların rijitliklerine ve bağlantı şekline göre karar verilir. Dolu döşekler gemi enine uzanarak postalara bağlanırlar. Döşeklerin atalet momentleri, dolayısıyla da rijitlikleri, bordaya bağlandıkları postaya göre daha büyük olduğundan, bağlantı noktası basit mesnet olarak alınır [1, 3].

Bu bölümde gemi dip yapısındaki gerilmelerin hesaplanmasında çökme yöntemi kullanarak ızgara sistem analizi anlatılacaktır.

2.1. Çökme Yöntemi ile Izgara Sistem Analizi

1,1	1,2	1,3	...	1,n
2,1	2,2	2,3	...	2,n
...	...	...	...	...
m,1	m,2	m,3	...	m,n

Şekil 2.1 Izgara Sistemi

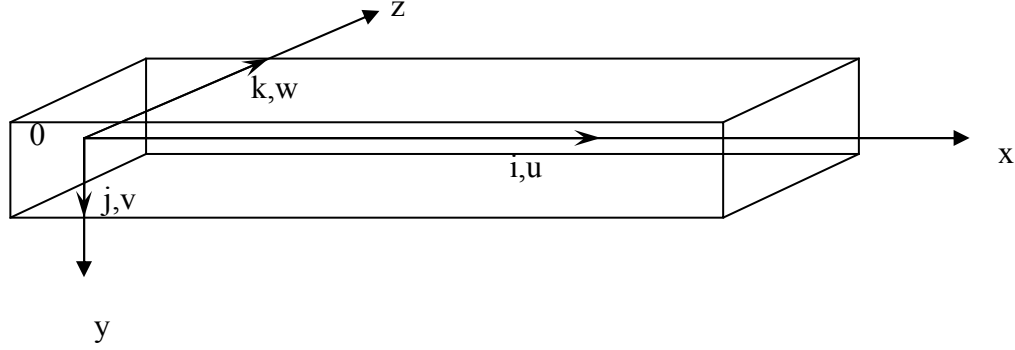
Izgara sistemini m adet enine eleman ve n adet boyuna elemandan oluşmaktadır. Yapılacak olan yüklemelerin boyuna elemanlara tesir ettiği kabul edilmiştir. Boyuna ve enine elemanlar birbirlerinin içerisinde geçmektedirler. Enine ve boyuna elemanların birleşme yerlerinde elemanlar birlikte hareket edeceklerdir. Bu sebepten herhangi bir yükleme altında şekil 2.1 de gösterilen her bir kesişim noktasında çökme değerleri enine ve boyuna elemanlar için eşit olacaktır. Bu eşitlikten yola çıkarak yapılacak analize çökme yöntemi ile ızgara sistem analizi adı verilmiştir.

Sisteme yapılan yükleme neticesinde çökme ve kesişim noktalarında destek kuvvetleri meydana gelecektir. Sistemde $m \times n$ tane kesişim noktası bulunduğu göre $m \times n$ tane bilinmeyen R destek kuvvetleri bulunacaktır. Kirişlerin çeşitli sınır şartları ve yükleme durumlarındaki davranışlarını inceleyerek çökme denklemleri elde edilecektir.

2.2.1. Kirişlerin Çeşitli Yükleme Durumlarında İncelenmesi

Kirişlerin çeşitli sınır şartları ve çeşitli yükleme durumlarındaki davranışları incelenecektir. Kirişler için incelenecek olan mesnet koşulları her iki uç için ankastre ve basit mesnet olacaktır. Sistem için yükleme durumu kiriş üzerine etkiyen düzgün yayılı yük ve kiriş üzerindeki noktalara etkiyen tekil yükler alınacaktır.

Denklemlerin elde edilmesinde diferansiyel denge denklemleri ve lineerleştirilmiş diferansiyel elastik eğri denklemi kullanılacaktır [4].



Şekil 2.2 Kartezyen koordinatlarındaki doğru eksenli kiriş.

Kiriş olarak adlandırılan çubuk elemanlarında iki boyut diğer üçüncü boyut yanında çok küçük olan ince ve uzun cisimlerdir. Şekil 2.2 de doğru eksenli bir kiriş, x , y , z gibi bir kartezyen koordinat takımında yerleştirilsin ve yer değiştirme vektörleri u , v , w ile gösterilsin. y , z eksenleri dik kesitlere paralel olsun ve x eksenini kiriş eksenini göstere. Bu durumda belirli bir O başlangıcından itibaren kesitler x değişkeni ile tarif edilecek ve bu kartezyen koordinatlarını kullanan kiriş için bütün fonksiyonlar yalnız x değişkeninin fonksiyonu olacaktır [4].

Kesit tesirlerinden $\vec{F}(x)$ vektörünün koordinat eksenleri doğrultusunda bileşenleri F_x , F_y , F_z olsun. Koordinat eksenleri boyunca seçilen birim vektörler sırasıyla $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ ise $\vec{F}$ için $\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$ yazılabilir. Aynı tarzda $\vec{p}$ yayılı dış kuvveti bileşenleriyle $\vec{p} = p_x \vec{i} + p_y \vec{j} + p_z \vec{k}$ olarak yazılır. Moment vektörünü bileşenleriyle $\vec{M} = M_x \vec{i} + M_y \vec{j} + M_z \vec{k}$ olarak ifade edilir. Hesaplamalarda kiriş üzerinde p_z ve p_x yayılı kuvvetleriyle F_z ve F_x tesir kuvvetleri bulunmamaktadır.

Kesit tesirlerinin diferansiyel denge denklemlerinden 2.1 vektörel denge denkleminde vektörler yerine yazılırsa denklem 2.3 ile skaler denge denklemi elde edilir. Denklem 2.2 vektörel denge denklemi bileşenlerine ayrılırsa denklem 2.4 bulunur [4].

$$\frac{d\vec{F}}{ds} + \vec{p} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{d\vec{M}}{ds} + \vec{i} \times \vec{F} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{dF_y}{dx} + p_y = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{dM_z}{dx} + F_y = 0 \quad (2.4)$$

Sistemin hiperstatik olması durumunda denklemlerin çözümü için elastik eğri denklemlerinden faydalanılır. Elastik eğrinin lineerleştirilmiş diferansiyel denklemi seçilen koordinat sistemine göre denklem 2.5 ile gösterilir [4]. Denklem 2.5 ve sistemin sınır şartlarından yararlanarak hiperstatik olan sistemler çözülecektir.

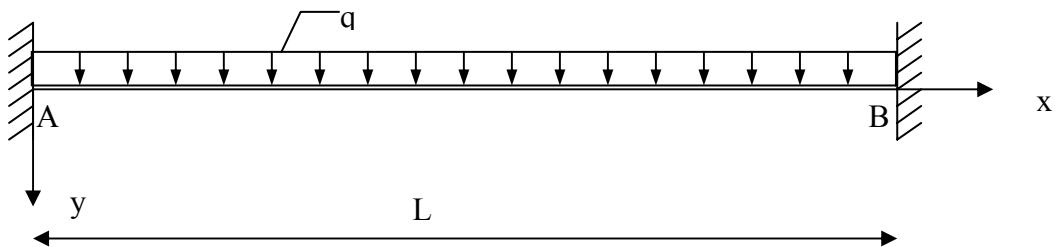
$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \frac{M_z}{EI_z} \quad (2.5)$$

2.2.1.a. Düzgün Yayılı Yük Altında Kiriş

Kiriş üzerine (q) düzgün yayılı yükü uygulanması durumunda değişik sınır koşulları için oluşacak moment, dönme ve çökme denklemleri hesaplanacaktır.

Ankastre Mesnet

Her iki ucu ankastre mesnet olan kirişin düzgün yayılı yük ile yüklenmesi durumunda oluşacak moment, dönme ve çökme denklemlerinin hesaplanması:



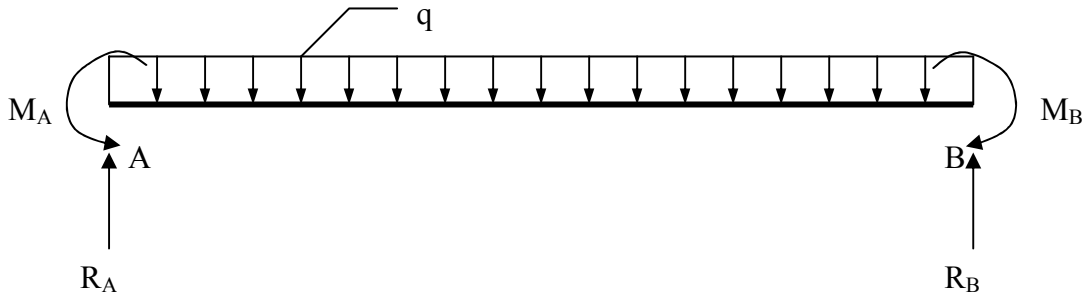
Şekil 2.3 Her iki ucu ankastre mesnet olan yayılı yük altındaki kiriş.

Şekil 2.3 de gösterilen kirişin ankastre mesnet olmasından dolayı kirişin her iki uç noktasında çökme ve dönme oluşmayacaktır. Kirişin ankastre mesnet olan A ve B noktalarında düzgün yayılı yüklemenden doğan M_A ve M_B mesnet momentleri meydana gelecektir. Şekil 2.4 de gösterilen serbest cisim diyagramında A ve B noktasında oluşan mesnet momentleri gibi tepki kuvvetleri de birbirine eşit olacaktır.

Kirişin sınır şartlar:

$$x = 0 \text{ için } v'(0) = 0 \text{ ve } v(0) = 0$$

$$x = L \text{ için } v'(L) = 0 \text{ ve } v(L) = 0$$



Şekil 2.4 Düzgün yayılı yük altındaki ankastre mesnet kirişin serbest cisim diyagramı.

Denklem 2.6 elde edilmek üzere $p_x = -q$ alınır ve denklem 2.3 integre edilir.

$$F_y(x) = -qx + C_1 \quad (2.6)$$

A ve B noktalarında meydana gelen tepki kuvvetleri yüklemenin simetrik olmasından dolayı birbirine eşit olacaktır. 2.7 denge denklemleri yardımıyla mesnet reaksiyonları hesaplanır.

$$\Sigma F_Y = 0, \Sigma F_X = 0 \quad (2.7)$$

$$\Sigma F_Y = R_A + R_B - qL$$

$$\Rightarrow F_Y(0) = F_Y(L) = R_A = R_B = \frac{qL}{2}$$

$$\Rightarrow F_X(0) = F_X(L) = 0$$

Mesnet reaksiyonlarından yararlanılarak C_1 integrasyon sabiti bulunur.

$$F_y(0) = \frac{qL}{2} = -qx + C_1$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{qL}{2}$$

C_1 integrasyon sabiti denklem 2.6 da yerine yazılır ve denklem 2.8 elde edilir.

$$F_y(x) = -qx + \frac{qL}{2} \quad (2.8)$$

Denklem 2.8 denklem 2.4 de yerine yazılır ve denklem 2.9 elde edilir.

$$\frac{dM_z}{dx} - qx + \frac{qL}{2} = 0 \quad (2.9)$$

Denklemini 2.9 integre edilerek denklem 2.10 moment denklemi bulunur.

$$M_z(X) = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} + C_2 \quad (2.10)$$

Sistem hiperstatik olduğundan denklem 2.10'daki integrasyon sabitleri doğrudan hesaplanamaz. Moment denkleminin çökme denklemini elde etmek için elastik eğri denklemlerinden faydalanılır. Denklem 2.5 den moment ifadesi çekilerek denklem 2.10 da yerine yazılırsa denklem 2.11 elde edilir.

$$EI_z v''(x) = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} + C_2 \quad (2.11)$$

Denklem 2.11 in integrali alınarak denklem 2.12 bulunur.

$$EI_z v'(x) = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + C_2x + C_3 \quad (2.12)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda dönme değeri oluşmamaktadır.

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

Denklem 2.12 üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa, $C_3=0$ ve $C_2=qL^2/12$ elde edilir. Elde edilen integrasyon sabitleri 2.11 ve 2.12 denklemlerinde yerine konur ve denklemi 2.12 integre edilirse sırasıyla 2.13, 2.14 ve 2.15 denklemleri bulunur.

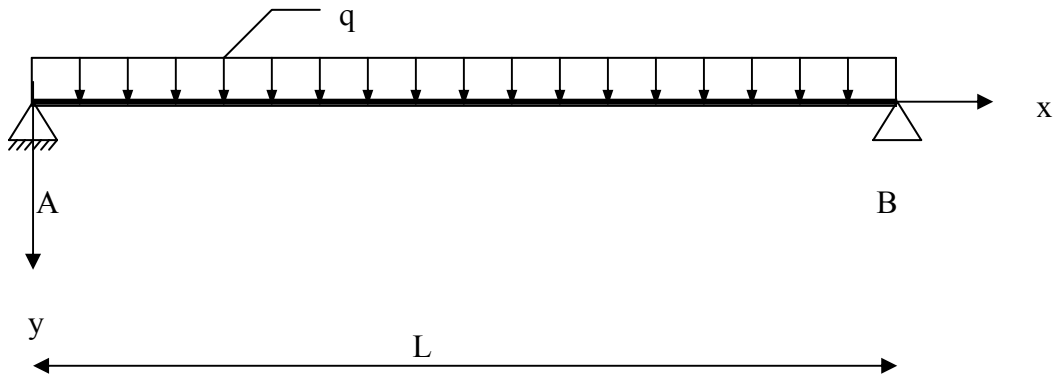
$$E I_z v''(x) = -\frac{q L x}{2} + \frac{q x^2}{2} + \frac{q L^2}{12} \quad (2.13)$$

$$E I_z v'(x) = -\frac{q L x^2}{4} + \frac{q x^3}{6} + \frac{q L^2}{12} x \quad (2.14)$$

$$E I_z v(x) = -\frac{q L x^3}{12} + \frac{q x^4}{24} + \frac{q L^2}{24} x^2 \quad (2.15)$$

Basit Mesnet

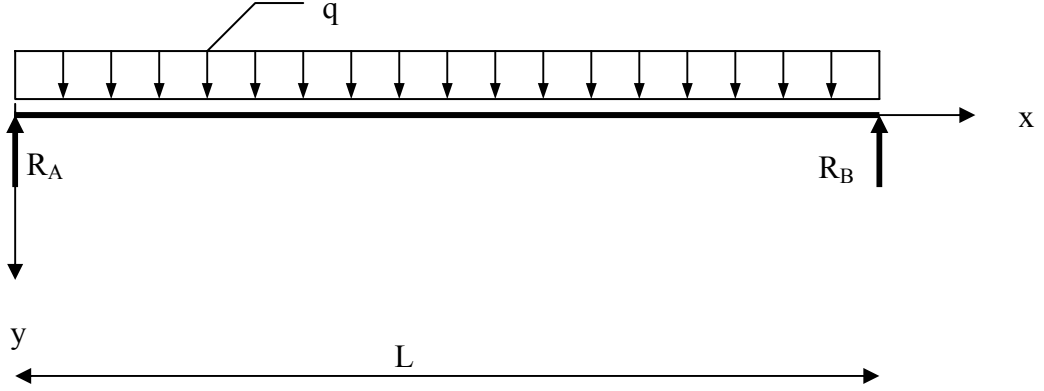
Her iki ucu basit mesnet olan kirişin (q) düzgün yayılı yük ile yüklenmesi durumunda oluşacak moment, dönme ve çökme denklemlerinin hesaplanması;



Şekil 2.5 Her iki ucu basit mesnet olan düzgün yayılı yüklenmiş kiriş

Şekil 2.5 de gösterilen kirişin basit mesnet olarak mesnetlenmesinden dolayı kirişin her iki uç noktasında çökme olmayacaktır, bu durumda kirişin basit mesnet olan A ve B noktalarında düzgün yayılı yüklemeye doğan M_A ve M_B mesnet momentleri meydana gelemez, A ve B noktalarında dönmeler meydana gelecektir.

Yüklemenin düzgün yayılı yük olmasından ötürü şekil 2.5 de gösterilen A ve B noktalarındaki dönme ve tepki kuvvetleri birbirlerine eşit olacaktır. Şekil 2.6 da tepki kuvvetleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Düzgün yayılı yük altındaki basit mesnet kirişin tepki kuvvetleri.

Sistemin sınır şartları;

$$x = 0 \text{ için } v''(0) = 0, v'(0) \neq 0 \text{ ve } v(0) = 0$$

$$x = L \text{ için } v''(L) = 0, v'(L) \neq 0 \text{ ve } v(L) = 0$$

Denklem 2.16'yı oluşturmak için $p_x = -q$ alınır ve 2.3 denklemi integre edilir.

$$F_y(x) = -qx + C_1 \quad (2.16)$$

A ve B noktalarında meydana gelen tepki kuvvetleri yüklemenin simetrik olmasından dolayı birbirine eşit olacaktır. 2.7 denge denklemleri yardımıyla mesnet reaksiyonları hesaplanır.

$$\Sigma F_Y = R_A + R_B - qL = 0$$

$$\Rightarrow F_Y(0) = F_Y(L) = R_A = R_B = \frac{qL}{2}$$

$$\Rightarrow F_X(0) = F_X(L) = 0$$

Mesnet reaksiyonlarından yararlanılarak C_1 integrasyon sabiti bulunur.

$$F_y(0) = \frac{qL}{2} = -qx + C_1$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{qL}{2}$$

C_1 integrasyon sabiti denklem 2.16 da yerine yazılır ve denklem 2.17 elde edilir.

$$F_y(x) = -qx + \frac{qL}{2} \quad (2.17)$$

Denklemini 2.17 denklem 2.4 de yerine yazılır ve denklem 2.18 elde edilir.

$$\frac{dM_z}{dx} - qx + \frac{qL}{2} = 0 \quad (2.18)$$

Denklem 2.18 integre edilerek denklem 2.19 moment denklemi bulunur.

$$M_z(X) = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} + C_1 \quad (2.19)$$

Sistem hiperstatik olduğundan denklem 2.19'daki integrasyon sabitleri doğrudan hesaplanamaz. Denklemi çözmek için elastik eğri denklemlerinden faydalanılır. Denklem 2.5 den moment ifadesi çekilerek denklem 2.19 da yerine yazılırsa denklem 2.20 elde edilir.

$$EI_z v''(x) = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} + C_1 \quad (2.20)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda moment değeri oluşmamaktadır.

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

Denklem 2.20 üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa, $C_1=0$ elde edilir. Elde edilen integrasyon sabiti 2.20 denkleminde yerine yazılarak 2.21 denklemi elde edilir.

$$E I_z v''(x) = -\frac{qLx}{2} + \frac{qx^2}{2} \quad (2.21)$$

Denklem 2.21 integre edilerek denklem 2.22 elde edilir.

$$E I_z v'(x) = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + C_2 \quad (2.22)$$

Denklem 2.22'nin integrali alınarak denklem 2.23 bulunur.

$$E I_z v(x) = -\frac{qLx^3}{12} + \frac{qx^4}{24} + C_2x + C_3 \quad (2.23)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda çökme değeri oluşmamaktadır.

$$v(0) = 0, v(L) = 0$$

Denklem 2.23 üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa, $C_2 = qL^3/24$ ve $C_3 = 0$ elde edilir. Elde edilen integrasyon sabitleri 2.22 ve 2.23 denklemlerinde yerine konularak 2.24 ve 2.25 denklemleri bulunur.

$$E I_z v'(x) = -\frac{qLx^2}{4} + \frac{qx^3}{6} + \frac{qL^3}{24} \quad (2.24)$$

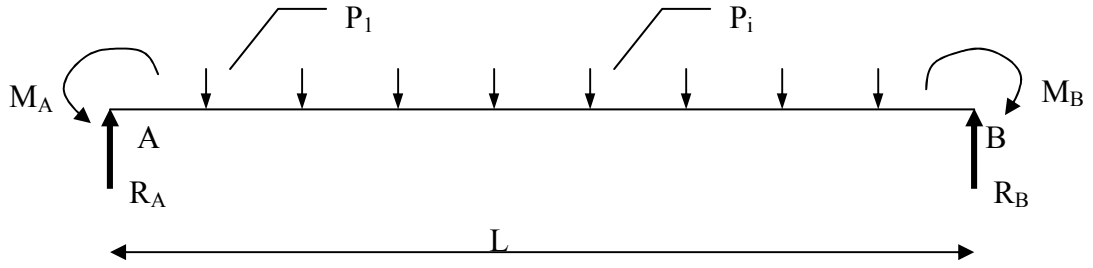
$$E I_z v(x) = -\frac{qLx^3}{12} + \frac{qx^4}{24} + \frac{qL^3x}{24} \quad (2.25)$$

2.2.1.b. Tekil Kuvvetler Altında Kiriş

Şekil 2.7 deki iki mesnetli kiriş üzerinde kirişin orta noktasına göre simetrik olacak şekilde n adet P_i tekil kuvvetleri eşit aralıklarla kiriş üzerine yüklenmesi durumunda değişik sınır şartları için oluşacak moment ve çökme denklemleri hesaplanacaktır.

Kirişin moment diyagramını bulmak için mesnet şartlarında oluşabilecek momentlere ek olarak serbest cisim diyagramı üzerindeki her bir kuvvetin oluşturacağı moment ayrı ayrı hesaplanıp süperpoze edilmesi ile kirişin moment denklemi elde

edilecektir. Elde edilen moment denklemi 2.5 denkleminde yerine yazılarak ve sınır şartlarından da yararlanarak çökme denklemleri elde edilecektir.



Şekil 2.7 Tekil kuvvetler altındaki kiriş.

Kiriş üzerine P_i kuvvetleri ile yükleme yapılması durumunda kiriş üzerinde mesnet reaksiyonları bulunacaktır. A ve B noktalarında oluşacak tepki kuvvetlerine ek olarak kirişin ankastre mesnet olması durumunda ankastre mesnet momentleri oluşacaktır. Kiriş üzerinde yapılan yüklemenin simetrik olması nedeniyle M_A ve M_B mesnet momentleri gibi R_A ve R_B tepki kuvvetleri de birbirine eşit olacaktır.

İki mesnetli P_i tekil kuvvetlerle yüklü bir kiriş alalım. Kirişin A noktasından x uzaklıkta bulunan kesitteki momentini $M_z(x)$ ile gösterilsin. $M_{z0}(x)$ bu kirişin A ve B mesnetleri serbest olduğu (M_A ve M_B momentlerinin tesir etmediği) durumdaki moment olduğu göre moment denklemi 2.26 ile gösterilir [5].

$$M_z(x) = M_{z0}(x) + M_A(1 - x/L) + M_B(x/L) \quad (2.26)$$

$M_{z0}(x)$ momentini R_A ve P_i kuvvetlerinden meydana gelmektedir. A ve B noktalarında meydana gelen R_A ve R_B tepki kuvvetleri 2.7 denge denklemleri yardımıyla hesaplanır.

$$\Sigma F_Y = 0, \Sigma F_X = 0 \quad (2.7)$$

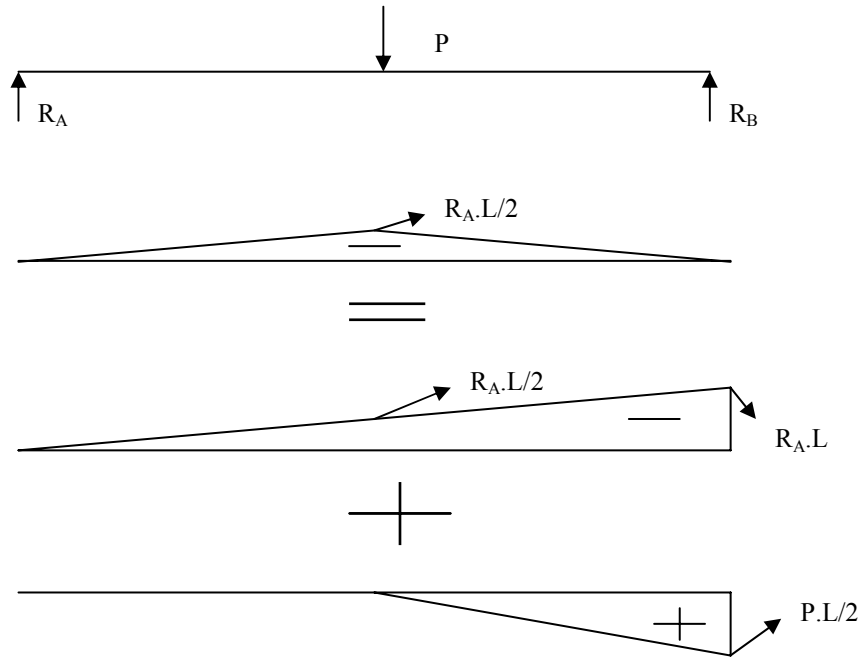
$$\Rightarrow F_Y(0) = F_Y(L) = R_A = R_B = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / 2 = 1/2 \sum_{i=1}^n P_i$$

$$\Rightarrow F_X(0) = F_X(L) = 0$$

$M_{z0}(x)$ momentini ileride yapılacak hesaplamalarda kolaylık olması açısından R_A kuvvetinin moment koluyla çarpımından oluşan moment ile P_i kuvvetlerinin moment

kollarıyla çarpımından oluşan momentlerin toplamı olarak hesaplanacaktır. Basit bir örnek olarak şekil 2.8 de tesir diyagramı gösterilen her iki ucu basit mesnet olan bir kirişin orta noktası üzerine P kuvveti uygulansın, bu durumda meydana gelen moment dağılımı şekil 2.8 de gösterildiği gibi R_A kuvveti ile P kuvvetinin meydana getirdikleri momentin toplamından oluşmaktadır.

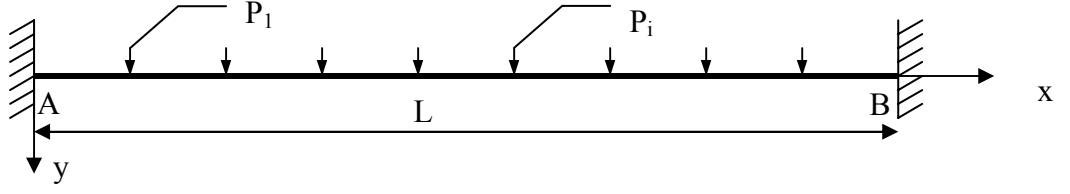
Kiriş üzerine kirişin orta noktasına göre simetrik olmak koşulu ile n adet P_i tekil kuvvetin etkimesi durumunda kirişin $M_{z0}(x)$ momenti, R_A tepki kuvvetinin moment koluyla çarpımından oluşan moment kolu ile n adet kuvvetin moment kolları ile oluşturacağı momentlerin süperpozisyon kanununa göre toplamından oluşmaktadır.



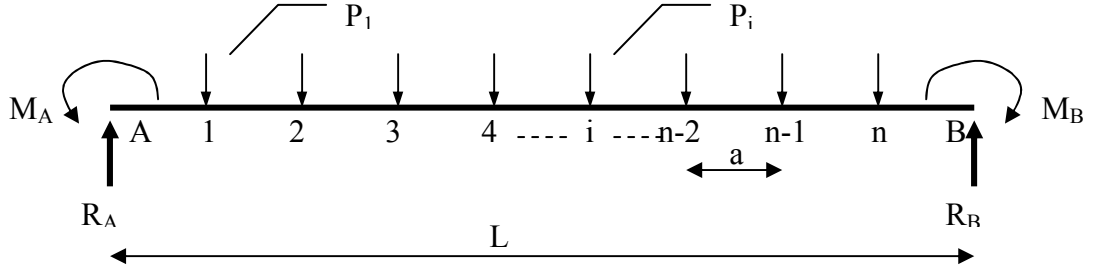
Şekil 2.8 orta noktasında P kuvveti etki eden basit kirişin moment dağılımı

Ankastre Mesnet

Şekil 2.9 da gösterilen kirişin ankastre mesnet olmasından dolayı kirişin her iki uç noktasında çökme ve dönme oluşmayacaktır. Kirişin ankastre mesnet olan A ve B noktalarında n adet tekil kuvvetlerden doğan M_A ve M_B mesnet momentleri meydana gelecektir. Sistemin simetrik olmasından dolayı şekil 2.10 da gösterilen serbest cisim diyagramında A ve B noktasında oluşan M_A ve M_B mesnet momentleri gibi R_A ve R_B tepki kuvvetleri de birbirine eşit olacaktır.



Şekil 2.9 Her iki ucu ankastre mesnet olan tekil kuvvetler altındaki kiriş.

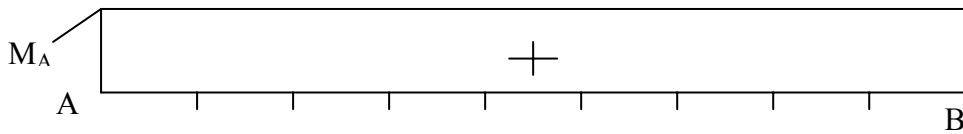


Şekil 2.10 Tekil kuvvetler altındaki kirişin serbest cisim diyagramı.

Şekil 2.10'daki serbest cisim diyagramı üzerindeki her bir kuvvetin oluşturacağı moment ayrı ayrı hesaplanıp süperpoze edilmesi ile kirişin moment denklemi elde edilecektir. M_A ve M_B ankastre mesnet momentleri, yüklemenin simetrik olması nedeniyle birbirine eşit olduklarından dolayı denklem 2.26 yeniden düzenlenir ve denklem 2.27 elde edilir.

$$M_z(x) = M_{z0}(x) + M_A \quad (2.27)$$

Bu durumda kirişin ankastre mesnet olması dolayısıyla meydana gelen ankastre mesnet momentlerinin kirişin moment diyagramına etkisi şekil 2.11 ile gösterilir.



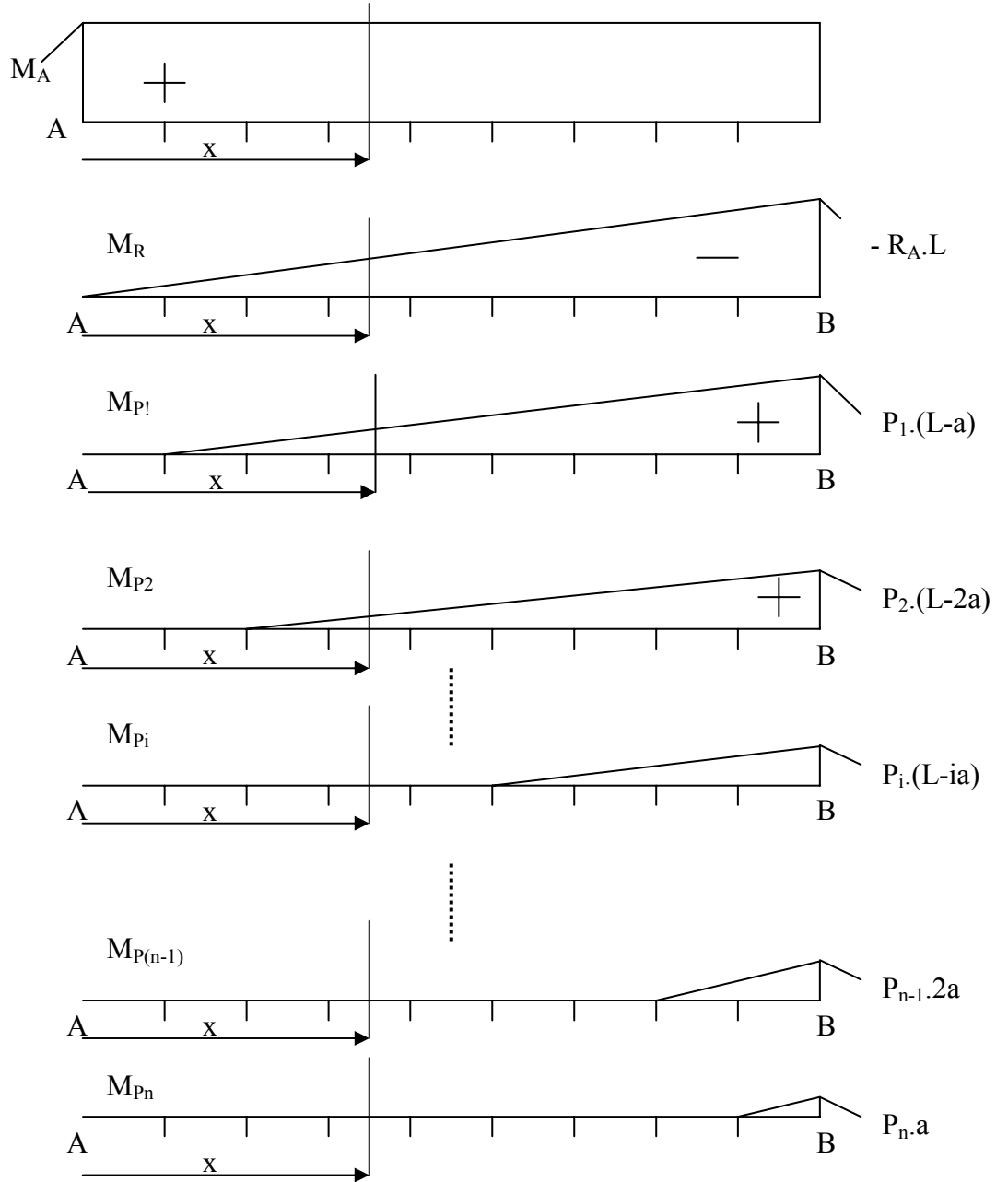
Şekil 2.11 Ankastre mesnet momentlerinin kiriş moment diyagramına etkisi

Şekil 2.11 da gösterilen diyagrama A ve B noktasında oluşan R_A ve R_B tepki kuvvetlerinin ve kiriş üzerindeki n adet tekil kuvvetlerin oluşturacağı moment diyagramı eklenerek şekil 2.12 oluşturulur.

Kirişin A noktasından x mesafe uzaklıktaki bir noktanın momentini şekil 2.12 üzerindeki diyagramların süperpoze edilmesiyle hesaplanır. Denklem 2.28 de kirişin

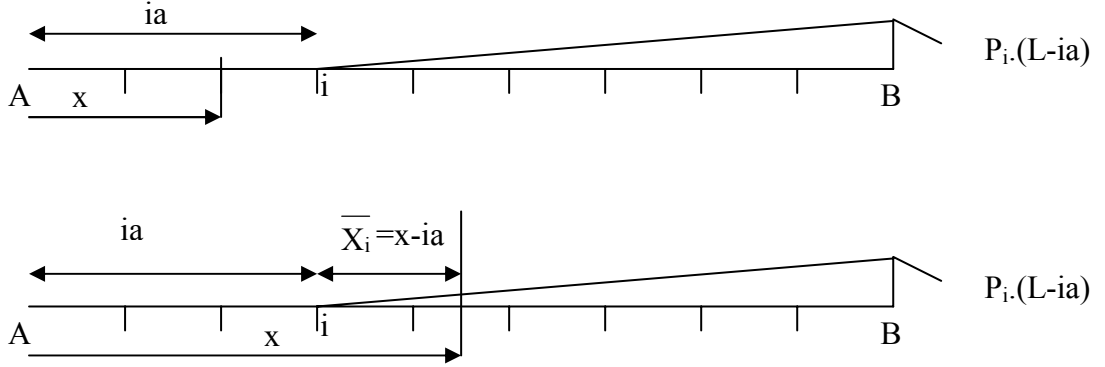
moment denklemi M_A ankastre momentine, tepki kuvvetlerinin oluşturduğu M_R moment denklemine ve tekil yüklemenin meydana getirdiği M_{P_i} moment denklemlerine bağlı olduğu gösterilmiştir.

$$M_z(x) = M_A + M_R(x) + \sum_{i=1}^n M_{P_i}(x) \quad (2.28)$$



Şekil 2.12 Kirişin moment diyagramları

Şekil 2.12 ve şekil 2.13 den de görüldüğü üzere kirişin x mesafe uzaklığındaki momenti, etkiye noktası x mesafesinden daha uzakta olan tesir kuvvetlerinin oluşturduğu moment diyagramlarına bağlı değildir.



Şekil 2.13 P_i kuvvetinin oluşturduğu moment dağılımı

Herhangi bir i noktasında uygulanan P_i kuvvetinin oluşturduğu $M_{P_i}(x)$ momenti, kuvvetin etkiye noktası ile moment kolunun çarpımına eşit olacaktır. Şekil 2.13 de gösterilen $\bar{X}_i$ değeri, P_i kuvvetinin x noktasında oluşturduğu moment kolunu göstermektedir. ($i = 1, 2, \dots, n$)

- $x < ia$ olduğu durumda $\bar{X}_i = 0$, $M_{P_i}(x) = 0$
- $x > ia$ olduğu durumda $\bar{X}_i = x - ia$, $M_{P_i}(x) = P_i(x - ia)$

Moment denklemi 2.28 açılarak denklem 2.29 ile gösterilir.

$$x - ia > 0 \Rightarrow \bar{X}_i = x - ia$$

$$x - ia < 0 \Rightarrow \bar{X}_i = 0$$

$$M(x) = -R_A x + P_1 \bar{X}_1 + P_2 \bar{X}_2 + P_3 \bar{X}_3 + \dots + P_n \bar{X}_n + M_A \quad (2.29)$$

Sistemin sınır koşulları

$$x = 0 \text{ için } v'(0) = 0 \text{ ve } v(0) = 0$$

$$x = L \text{ için } v'(L) = 0 \text{ ve } v(L) = 0$$

Sistemde M_A momenti sabit olup C_1 ile gösterilir, P_i toplamaları düzenlenir ve R_A tepki kuvvetinin eşiti denklem 2.29 da yerine yazılarak denklem düzenlenirse denklem 2.30 elde edilir.

$$x - i a > 0 \Rightarrow \overline{Xi} = x - i a$$

$$x - i a < 0 \Rightarrow \overline{Xi} = 0$$

$$R_A = 1 / 2 \sum_{i=1}^n P_i$$

$$M(x) = - 1 / 2 \sum_{i=1}^n P_i x + \sum_{i=1}^n P_i [\overline{Xi}] + C_1 \quad (2.30)$$

Denklem 2.5 den moment ifadesi çekilerek denklem 2.30 da yerine yazılırsa denklem 2.31 elde edilir.

$$E I_Z v''(x) = \sum_{i=1}^n P_i [\overline{Xi} - \frac{x}{2}] + C_1 \quad (2.31)$$

2.31 denkleminin integrali alınarak 2.33 denklemi bulunur.

$$E I_Z v'(x) = \sum_{i=1}^n P_i [\frac{(\overline{Xi})^2}{2} - \frac{x^2}{4}] + C_1 x + C_2 \quad (2.32)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda dönme değeri oluşmamaktadır.

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

2.32 denklemi üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa, C_2 ve C_1 elde edilir.

$$E I_Z v'(0) = 0 \Rightarrow$$

$$C_2 = 0$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^n P_i \left[-\frac{(L - i a)^2}{2L} + \frac{L}{4} \right]$$

Elde edilen integrasyon sabitleri 2.31 ve 2.32 denklemlerinde yerine konur ve 2.32 denklemi integre edilirse sırasıyla 2.33, 2.34 ve 2.35 denklemleri bulunur.

$$M_A = M_B = C_1 = \sum_{i=1}^n P_i \left[-\frac{(L - i a)^2}{2L} + \frac{L}{4} \right]$$

$$E I_Z v''(x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[\bar{X}_i - \frac{x}{2} - \frac{(L - i a)^2}{2L} + \frac{L}{4} \right] \quad (2.33)$$

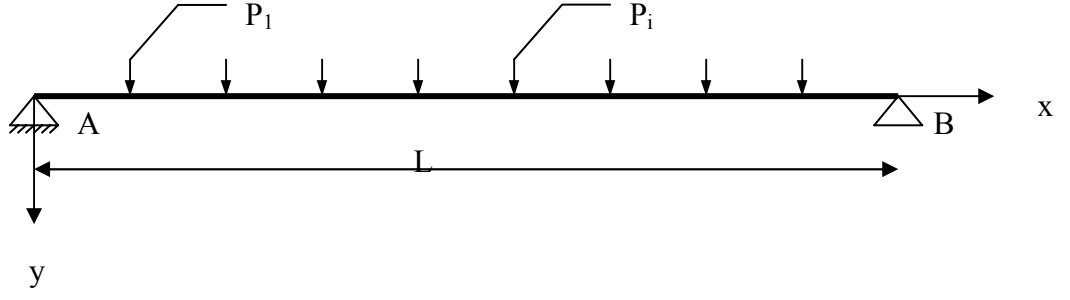
$$E I_Z v'(x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[\frac{(\bar{X}_i)^2}{2} - \frac{x^2}{4} - \frac{(L - i a)^2 x}{2L} + \frac{Lx}{4} \right] \quad (2.34)$$

$$E I_Z v(x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[+\frac{(\bar{X}_i)^3}{6} - \frac{x^3}{12} - \frac{(L - i a)^2 x^2}{4L} + \frac{Lx^2}{8} \right] \quad (2.35)$$

Basit Mesnet

Şekil 2.14 de gösterilen kirişin basit mesnet olmasından dolayı kirişin her iki uç noktasında çökme ve moment oluşmayacaktır. Kirişin basit mesnet olan A ve B noktalarında tekil kuvvetlerden doğan dönmeler meydana gelecektir. Sistemin simetrik olmasından dolayı A ve B noktasında oluşan dönme ve R_A ve R_B tepki kuvvetleri de birbirine eşit olacaktır.

Kirişin her iki ucu basit mesnet olarak alındığında sistemin moment diyagramları her bir tepki ve tesir kuvveti için ayrı ayrı hesaplanıp bunların süperpoze edilmesi ile elde edilir. Şekil 2.15 de gösterilen diyagramlarda kirişin moment diyagramları görülmektedir.

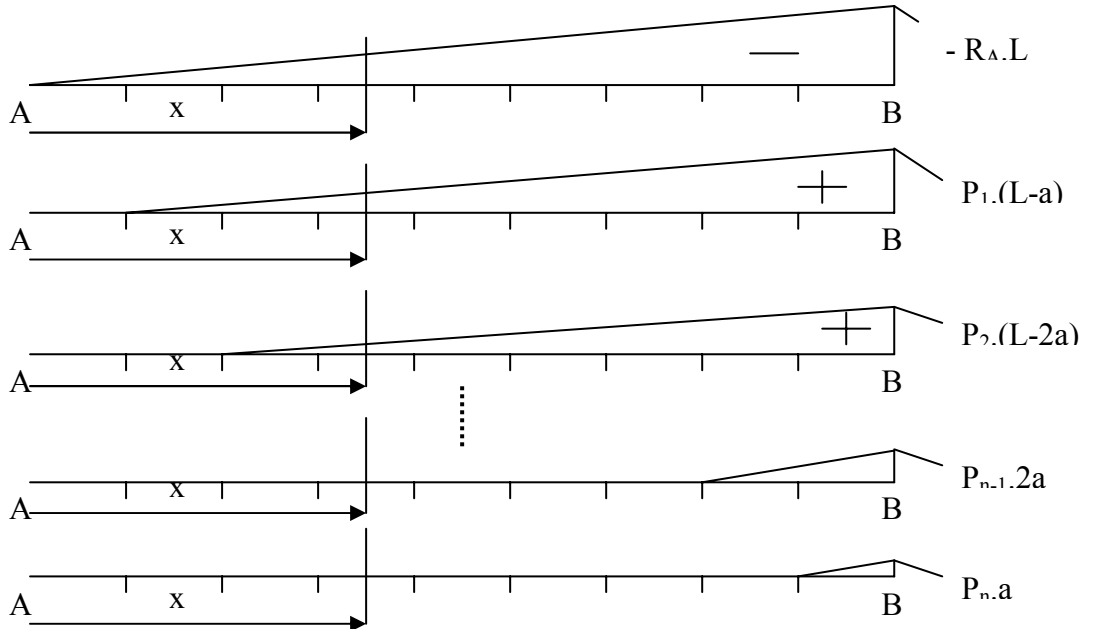


Şekil 2.14 Her iki ucu basit mesnet olan tekil kuvvetler altındaki kiriş.

Kirişin A noktasından X mesafe uzaklıktaki bir noktanın momenti şekil 2.15 üzerindeki diyagramların süperpoze edilmesiyle hesaplanır. Kirişin basit mesnet olmasından dolayı ankastre mesnet momentleri bulunmamaktadır.

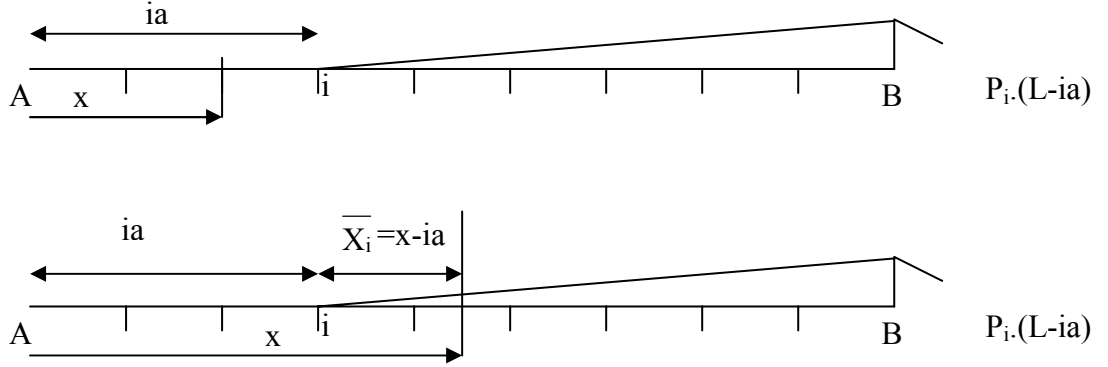
Denklem 2.36 da kirişin moment denklemi tepki kuvvetlerinin oluşturduğu M_R moment denklemine ve tekil yüklemenin meydana getirdiği M_{Pi} moment denklemlerine bağlı olduğu gösterilmiştir.

$$M_z(x) = M_R(x) + \sum_{i=1}^n M_{Pi}(x) \quad (2.36)$$



Şekil 2.15 A ve B noktasında oluşan R_A ve R_B tepki kuvvetlerinin ve kiriş üzerindeki n adet tekil kuvvetlerin oluşturacağı moment dağılımları

Şekil 2.15 ve şekil 2.16 den de görüldüğü üzere kirişin x mesafe uzaklığındaki momenti, etkiye noktası x mesafesinden daha uzakta olan tesir kuvvetlerinin oluşturduğu moment diyagramlarına bağlı değildir.



Şekil 2.16 P_i tesir kuvvetinin oluşturduğu moment diyagramı

Herhangi bir i noktasında uygulanan P_i kuvvetinin oluşturduğu $M_{P_i}(x)$ momenti, kuvvetin etkiye noktası ile moment kolunun çarpımına eşit olacaktır. Şekil 2.16 da gösterilen $\bar{X}_i$ değeri, P_i kuvvetinin x noktasında oluşturduğu moment kolunu göstermektedir. ($i = 1, 2, \dots, n$)

- $x < ia$ olduğu durumda $\bar{X}_i = 0$, $M_{P_i}(x) = 0$
- $x > ia$ olduğu durumda $\bar{X}_i = x - ia$, $M_{P_i}(x) = P_i(x - ia)$

Moment denklemi 2.36 açılarak denklem 2.37 ile gösterilir.

$$x - ia > 0 \Rightarrow \bar{X}_i = x - ia$$

$$x - ia < 0 \Rightarrow \bar{X}_i = 0$$

$$M(x) = -R_A x + P_1 \bar{X}_1 + P_2 \bar{X}_2 + P_3 \bar{X}_3 + \dots + P_n \bar{X}_n \quad (2.37)$$

Sistemin sınır şartları;

$$x = 0 \text{ için } v''(0) = 0, v'(0) \neq 0 \text{ ve } v(0) = 0$$

$$x = L \text{ için } v''(L) = 0, v'(L) \neq 0 \text{ ve } v(L) = 0$$

Sistemde P_i toplamaları düzenlenir ve R_A tepki kuvvetinin eşiti denklem 2.37 da yerine yazılarak düzenlenirse denklem 2.38 elde edilir.

$$x - i a > 0 \Rightarrow \overline{Xi} = x - i a$$

$$x - i a < 0 \Rightarrow \overline{Xi} = 0$$

$$R_A = R_B = 1 / 2 \sum_{i=1}^n P_i$$

$$M(x) = - 1 / 2 \sum_{i=1}^n P_i x + \sum_{i=1}^n P_i [\overline{Xi}] + C_1 \quad (2.38)$$

Denklem 2.5 den moment ifadesi çekilerek 2.38 denkleminde yerine yazılırsa 2.39 denklemi elde edilir.

$$E I_Z v''(x) = \sum_{i=1}^n P_i [\overline{Xi} - \frac{x}{2}] + C_1 \quad (2.39)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda moment değeri oluşmamaktadır.

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

Denklem 2.39 üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa:

$$E I_Z v''(0) = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

C_1 integrasyon sabiti denklem 2.39 de yerine yazılarak denklem 2.40 elde edilir.

$$E I_Z v''(x) = \sum_{i=1}^n P_i [\overline{Xi} - \frac{x}{2}] \quad (2.40)$$

2.40 denklemi integre edilerek 2.41 denklemi elde edilir.

$$E I_Z v' (x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[+ \frac{(\overline{Xi})^2}{2} - \frac{x^2}{4} \right] + C_2 \quad (2.41)$$

2.41 denkleminin integrali alınarak 2.42 denklemi bulunur.

$$E I_Z v (x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[+ \frac{(\overline{Xi})^3}{6} - \frac{x^3}{12} \right] + C_2 x + C_3 \quad (2.42)$$

Kirişin sınır şartlarına göre uç noktalarda çökme değeri oluşmamaktadır.

$$v(0) = 0, v(L) = 0$$

2.42 denklemi üzerinde $x = 0$ ve $x = L$ noktası için sınır şartları uygulanırsa:

$$E I_Z v(0) = 0 \Rightarrow C_3 = 0$$

$$E I_Z v(L) = 0 \Rightarrow C_2 = \sum_{i=1}^n P_i \left[- \frac{(L-i.a)^3}{6L} + \frac{L^2}{12} \right]$$

Elde edilen integrasyon sabitleri 2.41 ve 2.42 denklemlerinde yerine konularak 2.43 ve 2.44 denklemleri bulunur.

$$x - i.a > 0 \Rightarrow \overline{Xi} = x - i.a$$

$$x - i.a < 0 \Rightarrow \overline{Xi} = 0$$

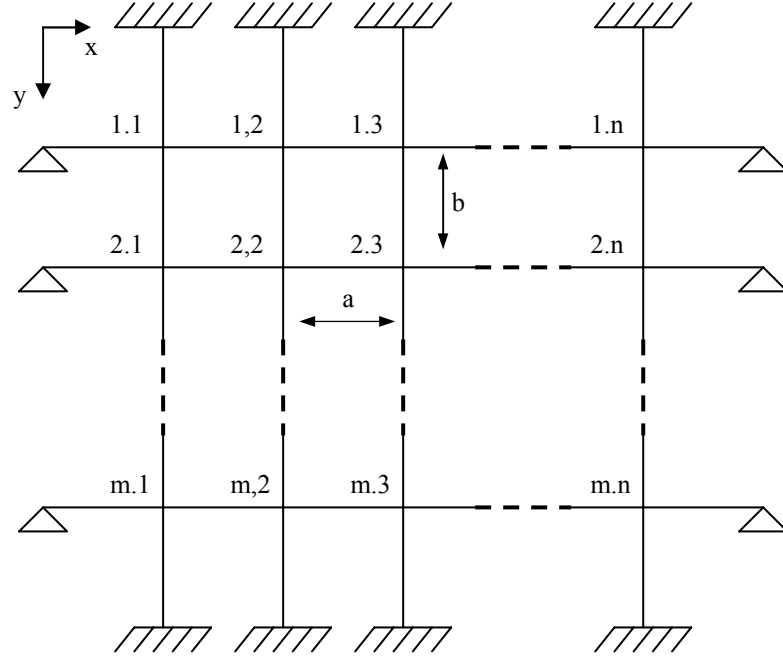
$$E I_Z v' (x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[+ \frac{(\overline{Xi})^2}{2} - \frac{x^2}{4} - \frac{(L-i.a)^3}{6L} + \frac{L^2}{12} \right] \quad (2.43)$$

$$E I_Z v (x) = \sum_{i=1}^n P_i \left[\frac{(\overline{Xi})^3}{6} - \frac{x^3}{12} - \frac{x(L-i.a)^3}{6L} + \frac{xL^2}{12} \right] \quad (2.44)$$

2.3. Çözüm Yöntemi

Ana düşünce enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarındaki yer değiştirmelerin eşit olmasıdır. Oluşan yükleme neticesinde boyuna elemanlar yer değiştirmeye maruz kalacaklar ve enine elemanlarda boyuna elemanlara bağlı bulunduklarından yapılan yükleme ters yönde bir R destek kuvveti ile karşı koyacaklardır. Sisteme ait kesişim noktalarından olacak bu destek kuvvetleri sisteme ait bilinmeyen değerleridir. Sistem üzerinde yapılan tekil kuvvetlerle yapılan yükleme ile düzgün yayılı kuvvetlerle yapılan yükleme ayrı ayrı incelenip süperpoze edilecektir. Sistemin meydana getireceği destek kuvvetleri tekil kuvvet olarak etkimektedir. Yüklemenin boyuna elemanlara etkidiği kabulü ile boyuna elemanlar üzerinde düzgün yayılı kuvvetler, uygulanan tekil kuvvetler ve sistemin meydana getirdiği destek kuvvetleri etkiyecektir. Enine elemanlar üzerinde sadece meydana getirdikleri destek kuvvetleri bulunacaktır. Süperpozisyon kanunu uygulamak üzere bilinmeyen destek kuvvetlerini bulmak için izlenecek yol;

- Izgara sisteminde bilinmeyen destek kuvvetleri ve sistem üzerine etkileyen tekil kuvvetlere bağlı olan boyuna elemanlarda oluşan çökme denklemi hesaplanır.
- Izgara sisteminde bilinmeyen destek kuvvetlerine bağlı olan enine elemanlarda oluşan çökmenin denklemi hesaplanır.
- Izgara sisteminde düzgün yayılı kuvvetler tarafından boyuna elemanlarda oluşan çökmenin denklemi hesaplanır.
- Enine ve boyuna giden elemanların kesişim noktalarına ait çökme denklemleri eşitlenir, bilinen ve bilinmeyen değerler düzenlenerek lineer denklem takımı oluşturulur.
- Elde edilen denklemler lineer denklem takımı herhangi bir sayısal yöntem ile çözülerek R destek kuvvetleri elde edilir.
- R destek kuvvetlerinin bulunması ile elemanlardaki kesit tesirleri elde edilir.



Şekil 2.17 Izgara Sistemi ve Kesişim Noktaları

Izgara sisteminde m adet enine eleman ve n adet boyuna elemandan oluşmaktadır. Şekil 2.17 de gösterildiği üzere ızgara sisteminde gemi dip yapısını modellemek üzere boyuna elemanlar ankastre olarak, enine elemanlar basit mesnetlenmiştir. Enine elemanlar x eksen, boyuna elemanlar y eksen boyunca devam etmektedir. Yapılacak olan gösterimlerde “B” alt ve üst indisi boyuna elemanları, “E” alt ve üst indisi enine elemanları temsil etmektedir. Boyuna elemanların basit mesnet olması durumunda çözüm aynı adımlar uygulanarak elde etmek mümkün olacaktır.

Sisteme ait veriler;

- m sistemdeki enine elemanların sayısı.
- n sistemdeki boyuna elemanların sayısı.
- q sisteme etki eden düzgün yayılı kuvvet.
- P kesişim noktalarına etki eden tekil kuvvet.
- a boyuna elemanlar arası mesafe.
- b enine elemanlar arası mesafe.
- E elemanların elastisite modülü.

- I_E enine elemanların atalet momenti.
- I_B boyuna elemanların atalet momenti.
- L_E enine elemanların uzunluğu.
- L_B boyuna elemanların uzunluğu.

Hesaplamalarda elemanların ve yüklemenin simetrik olduğu, elemanların özelliklerinin eleman boyunca değişmediği kabul edilmiştir. Sistem üzerine etkiyen kuvvetler boyuna giden elemanlar üzerine etkiyen yayılı kuvvet ve boyuna elemanlarla enine elemanların kesişim noktaları üzerine etkiyen tekil kuvvetlerdir. Sisteme etki eden kuvvetlerin boyuna elemanlar tarafından karşılandığı kabul edilmiştir.

Seçilen herhangi bir i enine elemanı ile j boyuna elemanının kesişim noktası olan i, j noktasının çökme değeri Z_{ij} , tekil kuvvet değeri P_{ij} , destek kuvveti değeri R_{ij} ile gösterilecektir. Bu durumda $m \times n$ tane kesişim noktası olduğuna göre tek sütun ve $m \times n$ satırdan oluşan $[R]$ matrisi oluşturulur. Enine ve boyuna elemanlara ait kesişim noktalarındaki çökmeleri E üst indisi enine elemanı, B üst indisi boyuna elemanı göstermek üzere $[Z^E]$ ve $[Z^B]$ matrisleri ile gösterilir.

$$[R]_{m \times n} = \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \cdot \\ R_{m1} \\ R_{12} \\ R_{22} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{ij} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{mn} \end{bmatrix} \quad [Z^E]_{m \times n} = \begin{bmatrix} Z_{11}^E \\ Z_{21}^E \\ \cdot \\ Z_{m1}^E \\ Z_{12}^E \\ Z_{22}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{ij}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{1n}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{mn}^E \end{bmatrix} \quad [Z^B]_{m \times n} = \begin{bmatrix} Z_{11}^B \\ Z_{21}^B \\ \cdot \\ Z_{m1}^B \\ Z_{12}^B \\ Z_{22}^B \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{ij}^B \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{1n}^B \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{mn}^B \end{bmatrix}$$

Kesişim noktalarında enine ve boyuna elemanların çökme değerleri eşit olduğu için iki matrisi birbirlerine eşitlenerek denklem 2.45 elde edilir.

$$[Z^B] = [Z^E] \quad (2.45)$$

Boyuna elemanlara ait kesişim noktalarındaki çökme değerleri P ve R tekil kuvvetleri ile q düzgün yayılı kuvvetinden dolayı meydana gelmektedir. Oluşturulacak çökme denklemleri P ve R tekil kuvvetleri ile q düzgün yayılı kuvvetine bağlı olacaktır. $[Z^{B(P)}]$, $[Z^{B(R)}]$ ve $[Z^{B(q)}]$ matrisleriyle boyuna elemanlardaki P tekil kuvvetlerine, R destek kuvvetlerine ve q düzgün yayılı kuvvetine bağlı çökme denklemlerinden elde edilen çökmeler gösterir. Denklem 2.45 üzerinde matrisler yerine yazılarak denklem 2.46 elde edilir.

$$[Z^B] = [Z^E] = [Z^{B(P)}] + [Z^{B(R)}] + [Z^{B(q)}] \quad (2.46)$$

2.3.1. Boyuna Elemanlarda Tekil Kuvvetlere Bağlı Olan Çökme Denklemi

Her iki ucu ankastre mesnet ve üzerine tekil yük etkileyen kiriş için çökme denklemini denklem 2.35 ile hesaplanabilmektedir. Sistem üzerindeki boyuna elemanların kesişim noktalarındaki P ve R tekil kuvvetlerine bağlı olan çökme değerlerinin

Denklem 2.35, boyuna elemanların y eksenine boyunca devam ettiği göz önüne alınarak yeni koordinat sistemine göre düzenlenir ve P tekil kuvvetlerine ek olarak enine elemanların kesişim noktalarında yapmış olduğu R destek kuvvetlerinin de etkisi denkleme eklenirse şekil 2.18 de gösterilen j numaralı boyuna elemanın y mesafe uzaklığındaki çökme değerini $Z(y)$ ile göstermek üzere denklem 2.47 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y - s b > 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = y - s b$$

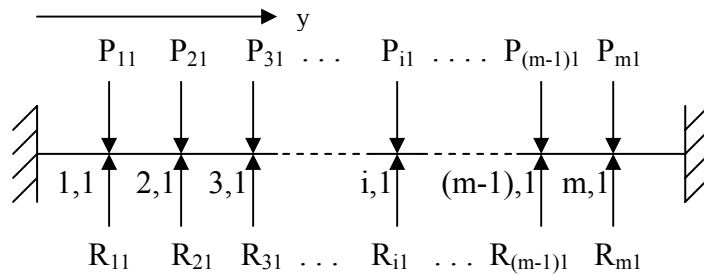
$$y - s b < 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = 0$$

$$Z(y) = \sum_s^m P_{sj} \left[\frac{(\bar{Y}_s)^3}{6} - \frac{y^3}{12} - \frac{(L_B - s b)^2 y^2}{4 L_B} + \frac{L_B y^2}{8} \right] / E I_B$$

$$-\sum_s^m R_{sj} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{y^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 y^2}{4L_B} + \frac{L_B y^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.47)$$

2.3.1a. (i,1) noktasında P ve R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi

Izgara sistem üzerindeki 1 numaralı boyuna eleman şekil 2.18 de gösterilmiştir. Kiriş üzerindeki kesişim noktalarında P ve R kuvvetleri bulunmaktadır. Noktalar arası mesafe b, kesişim nokta sayısı m, kiriş boyu L_B 'dir. Kirişin i,1 noktasında meydana gelen çökme değerini bulmak için denklem 2.47 üzerinde değerler yerine yazılır.



Şekil 2.18 Izgara sistemi üzerindeki 1 numaralı boyuna eleman.

Denklem 2.47 yardımıyla 1 numaralı boyuna elemanın i,1 noktasındaki P ve R tekil kuvvetlerine bağlı olan çökme, $Z_{il}^{B(P)} + Z_{il}^{B(R)}$ i, 1 noktasındaki boyuna elemanın tekil kuvvetlere bağlı olan çökme değeri olmak üzere denklem 2.48 ile ifade edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y = i.b$$

$$y - s.b > 0 \Rightarrow \overline{Y_s} = y - sb$$

$$y - sb \leq 0 \Rightarrow \overline{Y_s} = 0$$

$$Z_{il}^{B(P)} + Z_{il}^{B(R)} = \sum_s^m P_{s1} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B$$

$$- \sum_s^m R_{s1} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.48)$$

$$Z_{il}^{B(P)} = \sum_s^m P_{sl} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.49)$$

$$Z_{il}^{B(R)} = - \sum_s^m R_{sl} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.50)$$

$[Z^{B(P)}]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.49 açılır.

$$\begin{aligned} Z_{il}^{B(P)} &= P_{1l} \left[\frac{((i-1)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 1b)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \\ &+ P_{2l} \left[\frac{((i-2)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 2b)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \\ &\vdots \\ &+ P_{il} \left[\frac{((i-i)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 2b)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \\ &\vdots \\ &+ P_{ml} \left[\frac{(0)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - mb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \end{aligned}$$

Açılan denklem 2.49 düzenlenerek ile ankastre mesnet olan 1 numaralı boyuna elemanın 2,1 noktasındaki P tekil kuvvetlerine bağlı çökme denklemi olan denklem 2.51 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y = i.b$$

$$y - s.b > 0 \Rightarrow \overline{Y_s} = y - sb$$

$$y - sb \leq 0 \Rightarrow \overline{Y}s = 0$$

$$EI_B Z_{il}^{B(P)} = \begin{bmatrix} \frac{((i-1)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{((i-2)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{((i-i)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{(0)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ \vdots \\ P_{i1} \\ P_{m1} \\ P_{12} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ P_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

Bilinen P kuvvetleri denklem 2.51 üzerinde yerine yazılarak $Z_{il}^{B(P)}$ elde edilir.

$[Z^{B(R)}]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.50 açılır.

$$\begin{aligned} Z_{il}^{B(R)} &= -R_{11} \left[\frac{((i-1)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-1b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \\ &\vdots \\ -R_{21} &\left[\frac{((i-2)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \\ &\vdots \\ -R_{i1} &\left[\frac{((i-i)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \\ &\vdots \\ -R_{m1} &\left[\frac{(0)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \end{aligned}$$

Açılan denklem 2.50 düzenlenerek ile ankastre mesnet olan 1 numaralı boyuna elemanın i,1 noktasındaki R tekil kuvvetlerine bağlı çökme denklemi olan denklem 2.52 elde edilir.

$$EI_B Z_{i1}^{B(R)} = - \left[\begin{array}{c} \frac{((i-1)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{((i-2)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{((i-i)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{(0)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{array} \right]^T \left[\begin{array}{c} R_{11} \\ R_{21} \\ \vdots \\ R_{i1} \\ \vdots \\ R_{m1} \\ R_{12} \\ \vdots \\ \vdots \\ R_{mn} \end{array} \right] \quad (2.52)$$

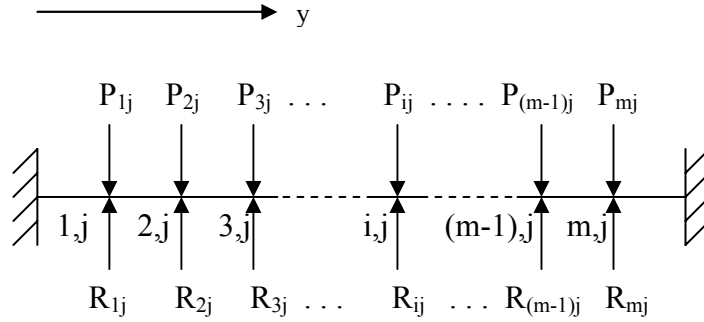
İşlemlerde basitlik sağlaması için denklem 2.52 denklem 2.53 formunda yazılır.

$$[K^B(i,1)] = -\frac{1}{EI_B} \left[\begin{array}{c} \frac{((i-1)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{((i-2)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{((i-i)b)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{(0)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{array} \right]^T$$

$$Z_{i1}^{B(R)} = [K^B(i,1)][R] \quad (2.53)$$

2.3.1.b. (i,j) noktasında P ve R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi

Izgara sistem üzerindeki j numaralı boyuna eleman şekil 2.19 de gösterilmiştir. Kiriş üzerindeki kesişim noktalarında P ve R kuvvetleri bulunmaktadır. Noktalar arası mesafe b, kesişim nokta sayısı m, kiriş boyu L_B dir. Kirişin i,j noktasında meydana gelen çökme değerini bulmak için denklem 2.47 üzerinde değerler yerine yazılır.



Şekil 2.19 Izgara sistem üzerindeki j numaralı boyuna eleman

Denklem 2.47 yardımıyla j numaralı boyuna elemanın i,j noktasındaki P ve R tekil kuvvetlerine bağlı olan çökme, $Z_{ij}^{B(P)} + Z_{ij}^{B(R)}$ i, j noktasındaki boyuna elemanın tekil kuvvetlere bağlı olan çökme değeri olmak üzere denklem 2.54 ile ifade edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y = i.b$$

$$y - s.b > 0 \Rightarrow \overline{Y_s} = y - sb$$

$$y - sb \leq 0 \Rightarrow \overline{Y_s} = 0$$

$$Z_{ij}^{B(P)} + Z_{ij}^{B(R)} = \sum_s^m P_{sj} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B$$

$$- \sum_s^m R_{sj} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.54)$$

$$Z_{ij}^{B(P)} = \sum_s^m P_{sj} \left[\frac{(\overline{Y_s})^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.55)$$

$$Z_{ij}^{B(R)} = - \sum_s^m R_{sj} \left[\frac{(\bar{Y}_s)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - sb)^2 (ib)^2}{4 L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \quad (2.56)$$

$[Z^{B(P)}]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.55 açılır.

$$\begin{aligned} Z_{ij}^{B(P)} = & P_{1j} \left[\frac{(\bar{Y}_1)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - lb)^2 (ib)^2}{4 L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \\ & + P_{2j} \left[\frac{(\bar{Y}_2)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 2b)^2 (ib)^2}{4 L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \\ & \vdots \\ & + P_{mj} \left[\frac{(\bar{Y}_m)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - mb)^2 (ib)^2}{4 L_B} + \frac{L_B (ib)^2}{8} \right] / E I_B \end{aligned}$$

Açılan denklem 2.55 düzenlenerek ile ankastre mesnet olan j numaralı boyuna elemanın i,j noktasındaki P tekil kuvvetlerine bağlı çökme denklemi olan denklem 2.57 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y = i.b$$

$$y - s b > 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = y - sb$$

$$y - sb \leq 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = 0$$

$$EI_B Z_{ij}^{B(P)} = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\bar{Y}_1)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{(\bar{Y}_2)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \cdot \\ \frac{(\bar{Y}_m)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{1j} \\ P_{2j} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{mj} \\ \cdot \\ P_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

Denklem 2.57 da her i, j noktası için bilinen P_{ij} tekil kuvvetlerinin yerine yazılmasıyla $[Z^{B(P)}]$ matrisi oluşturulur.

$$[Z^{B(P)}]_{mn \times 1} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{B(P)} \\ Z_{21}^{B(P)} \\ \cdot \\ Z_{m1}^{B(P)} \\ Z_{12}^{B(P)} \\ Z_{22}^{B(P)} \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{ij}^{B(P)} \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{1n}^{B(P)} \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{mn}^{B(P)} \end{bmatrix}$$

$[Z^{B(R)}]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.56 açılır.

$$\begin{aligned}
Z_{ij}^{B(R)} = & -R_{1j} \left[\frac{(\bar{Y}_1)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - lb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \\
& -R_{2j} \left[\frac{(\bar{Y}_2)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B \\
& \vdots \\
& -R_{mj} \left[\frac{(\bar{Y}_m)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \right] / EI_B
\end{aligned}$$

Açılan denklem 2.56 düzenlenerek ile ankastre mesnet olan j numaralı boyuna elemanın i,j noktasındaki R tekil kuvvetlerine bağlı çökme denklemi olan denklem 2.58 elde edilir.

$$EI_B Z_{ij}^{B(R)} = - \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \frac{(\bar{Y}_1)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{(\bar{Y}_2)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - 2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \vdots \\ \frac{(\bar{Y}_m)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B - mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \vdots \\ R_{1j} \\ R_{2j} \\ \vdots \\ R_{mj} \\ \vdots \\ R_{1n} \\ \vdots \\ R_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

İşlemlerde basitlik sağlaması için denklem 2.58 denklem 2.59 formunda yazılır.

$$[K^B(i)] = -\frac{1}{EI_B} \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\bar{Y}_1)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \frac{(\bar{Y}_2)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-2b)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ \cdot \\ \frac{(\bar{Y}_m)^3}{6} - \frac{(ib)^3}{12} - \frac{(L_B-mb)^2(ib)^2}{4L_B} + \frac{L_B(ib)^2}{8} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

$$Z_{ij}^{B(R)} = [K^B(i)][R] \quad (2.59)$$

Her bir $Z_{ij}^{B(R)}$ değerin denklemleri çıkarıldığına göre $[Z^{B(R)}]$ R destek kuvvetine bağlı olarak denklemleri çıkartılabilir. $[Z^{B(R)}]$ matrisi bir katsayılar matrisinin $[R]$ matrisi ile çarpımından oluşmaktadır. $[Z^{B(R)}]$ ve $[R]$ matrisleri m x n satır ve tek sütundan oluşmaktadır. Bu durumda matrisi oluşturacak katsayılar matrisi m x n satır ve m x n sütundan oluşmaktadır.

$$[Z^{B(R)}]_{m \times 1} = \begin{bmatrix} Z_{11}^{B(R)} \\ Z_{21}^{B(R)} \\ \cdot \\ Z_{m1}^{B(R)} \\ Z_{12}^{B(R)} \\ Z_{22}^{B(R)} \\ \cdot \\ Z_{ij}^{B(R)} \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{1n}^{B(R)} \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{mn}^{B(R)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K^B(1)] \\ [K^B(2)] \\ \cdot \\ [K^B(m)] \\ [K^B(1)] \\ [K^B(2)] \\ \cdot \\ [K^B(m)] \\ \cdot \\ \cdot \\ [K^B(1)] \\ \cdot \\ \cdot \\ [K^B(m)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \cdot \\ R_{m1} \\ R_{12} \\ R_{22} \\ \cdot \\ R_{m2} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{mn} \end{bmatrix}$$

$$[Z^{B(R)}] = [K^B][R]$$

2.3.2. Enine Elemanların Çökme Denklemleri:

Her iki ucu basit mesnet ve üzerine tekil yük etkiyen kiriş için çökme denklemini denklem 2.44 ile hesaplanabilmektedir. Sistem üzerindeki enine elemanların kesişim noktalarındaki R tekil kuvvetlerine bağlı olan çökme değerlerinin hesaplanması için denklem 2.44 düzenlenmesi gerekmektedir.

Denklem 2.44, enine elemanların x eksenı boyunca devam ettiği göz önüne alınarak yeni koordinat sistemine göre düzenlenir ve enine elemanların kesişim noktalarında yapmış olduğu R destek kuvvetlerinin etkisi altında i numaralı enine elemanın x mesafe uzaklığındaki çökme değeri Z(x) ile göstermek üzere denklem 2.60 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, n$$

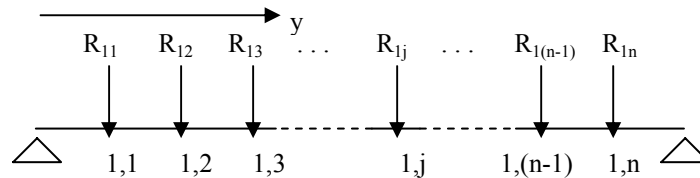
$$x - s a > 0 \Rightarrow \overline{X_s} = x - s a$$

$$x - s a < 0 \Rightarrow \overline{X_s} = 0$$

$$Z(x) = -\sum_s^n R_{is} \left[\frac{(\overline{X_s})^3}{6} - \frac{X^3}{12} - \frac{(L_E - s.a)^2 x}{6L_E} + \frac{x.L_E}{12} \right] / E L_E \quad (2.60)$$

2.3.2.a. (1,j) noktasında R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi

Izgara sistem üzerindeki 1 numaralı enine eleman şekil 2.20 de gösterilmiştir. Kiriş üzerindeki kesişim noktalarında R kuvvetleri bulunmaktadır. Noktalar arası mesafe a, kesişim nokta sayısı n, kiriş boyu L_E dir. Kirişin 1,j noktasında meydana gelen çökme değeri bulmak için denklem 2.60 üzerinde değeri yerine yazılır.



Şekil 2.20 Izgara sistem üzerindeki 1 numaralı enine eleman

Denklem 2.60 yardımıyla 1 numaralı enine elemanın 1,j noktasındaki çökme denklemi , Z_{1j}^E 1, j noktasındaki enine elemanın çökme değeri olmak üzere denklem 2.61 oluşturulur.

$$s = 1, 2, \dots, n$$

$$x = j a$$

$$x - s a > 0 \Rightarrow \overline{Xs} = x - s a$$

$$x - s a < 0 \Rightarrow \overline{Xs} = 0$$

$$Z_{1j}^E = - \sum_s^n R_{1s} \left[\frac{(\overline{Xs})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - s.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E \quad (2.61)$$

$[Z^E]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.61 açılır.

$$= -R_{11} \left[\frac{((j-1)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 1.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E$$

$$-R_{12} \left[\frac{((j-2)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E$$

⋮

$$-R_{1j} \left[\frac{((j-j)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - j.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E$$

⋮

$$-R_{1n} \left[\frac{(0)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - n.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E$$

Açılan denklem 2.61 düzenlenerek basit mesnet olan 1 numaralı enine elemanın 1,j noktasındaki tekil yükleme neticesinde oluşan çökme denklemi olan denklem 2.62 elde edilir.

$$\begin{aligned}
{}^E I_E Z_{lj}^E = & \begin{bmatrix} \frac{((j-1)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((j-2)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((0)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - na)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((0)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - na)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \cdot \\ R_{m1} \\ R_{12} \\ R_{22} \\ \cdot \\ R_{m(j-1)} \\ R_{1j} \\ R_{2j} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{1,n} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.62)
\end{aligned}$$

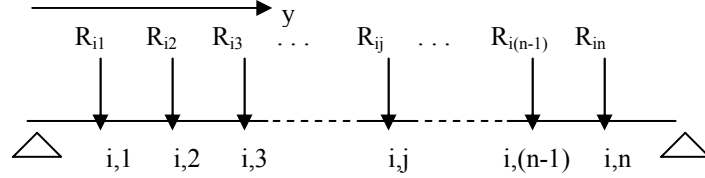
İşlemlerde basitlik sağlaması için denklem 2.62 denklem 2.63 formunda yazılır.

$$[K^E(j)] = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_1})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_2})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_n})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - na)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

$$Z_{lj}^E = [K^E(j)][R] \quad (2.63)$$

2.3.2.b. (i,j) noktasında R kuvvetlerine bağlı olan çökme denklemi:

Izgara sistem üzerindeki i numaralı enine eleman şekil 2.21 de gösterilmiştir. Kiriş üzerindeki kesişim noktalarında R kuvvetleri bulunmaktadır. Noktalar arası mesafe a, kesişim nokta sayısı n, kiriş boyu L_E dir.



Şekil 2.21 Izgara sistem üzerindeki i numaralı enine eleman

Denklem 2.60 yardımıyla i numaralı enine elemanın i,1 noktasındaki çökme denklemi , $Z_{i,j}^E$ i,j noktasındaki enine elemanın çökme değeri olmak üzere denklem 2.64 oluşturulur.

$$s = 1, 2, \dots, n$$

$$x = j a$$

$$x - s a > 0 \Rightarrow \overline{Xs} = x - s a$$

$$x - s a < 0 \Rightarrow \overline{Xs} = 0$$

$$Z_{ij}^E = - \sum_s^n R_{is} \left[\frac{(\overline{Xs})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - s.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja).L_E}{12} \right] / E L_E \quad (2.64)$$

$[Z^E]$ matrisini oluşturmak üzere denklem 2.64 açılır.

$$= -R_{i1} \left[\frac{(\overline{X_1})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 1.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja).L_E}{12} \right] / E L_E$$

$$-R_{i2} \left[\frac{(\overline{X_2})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja).L_E}{12} \right] / E L_E$$

⋮

$$-R_{in} \left[\frac{(\overline{X_n})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - n.a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{(ja) \cdot L_E}{12} \right] / E L_E$$

Açılan denklem 2.64 düzenlenerek basit mesnet olan i numaralı enine elemanın i,j noktasındaki tekil yükleme neticesinde oluşan çökme denklemi olan denklem 2.65 elde edilir.

$$E I_E Z_{ij}^E = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((j-1)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((j-2)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{((0)a)^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - na)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \cdot \\ R_{i,1} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{m1} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{i2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{i,n} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

İşlemlerde basitlik sağlaması için denklem 2.65 denklem 2.66 formunda yazılır.

$$[K^E(j)] = \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_1})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_2})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - 2a)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \frac{(\overline{X_n})^3}{6} - \frac{(ja)^3}{12} - \frac{(L_E - na)^2(ja)}{6L_E} + \frac{L_E(ja)^2}{12} \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}^T$$

$$Z_{ij}^E = [K^E(j)][R] \quad (2.66)$$

Her bir Z_{ij}^E değerinin denklemi çıkarıldığına göre $[Z^E]$ R destek kuvvetine bağlı olarak denklemi çıkartılabilir. $[Z^E]$ matrisi bir katsayılar matrisinin $[R]$ matrisi ile çarpımından oluşmaktadır. $[Z^E]$ ve $[R]$ matrisleri $m \times n$ satır ve tek sütundan oluşmaktadır. Bu durumda matrisi oluşturacak katsayılar matrisi $m \times n$ satır ve $m \times n$ sütundan oluşmaktadır.

$$[Z^E]_{m \times n} = \begin{bmatrix} Z_{11}^E \\ Z_{21}^E \\ \cdot \\ Z_{m1}^E \\ Z_{12}^E \\ Z_{22}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{ij}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{1n}^E \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_{mn}^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K^E(1)] \\ [K^E(1)] \\ \cdot \\ \cdot \\ [K^E(1)] \\ [K^E(2)] \\ [K^E(2)] \\ \cdot \\ [K^E(j)] \\ \cdot \\ \cdot \\ [K^E(n)] \\ \cdot \\ \cdot \\ [K^E(n)] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} \\ R_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{m1} \\ R_{12} \\ R_{22} \\ \cdot \\ R_{mj} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ R_{mn} \end{bmatrix}$$

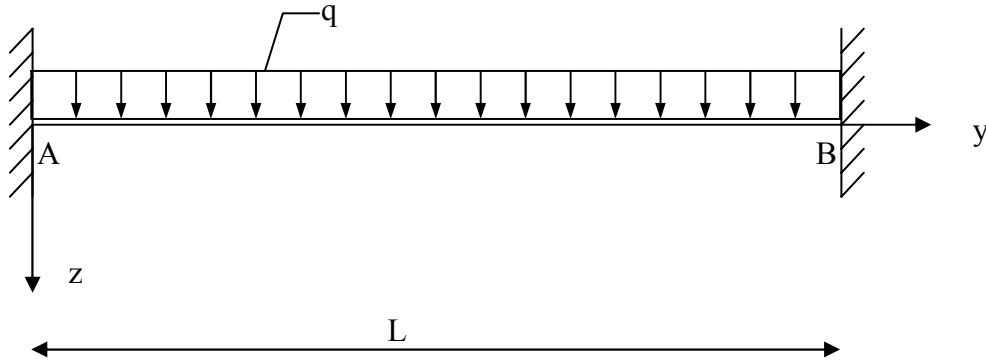
$$[Z^E] = [K^E][R]$$

2.3.3 Boyuna Elemanlarda Düzgün Yayılı Yüke Bağlı Olan Çökme Denklemi

Sistem üzerinde q düzgün yayılı kuvvetinin yüklemesi durumunda boyuna elemanlar üzerindeki kesişim noktalarındaki q düzgün yayılı kuvvetine bağlı olan çökme denkleminin hesaplanması için denklem 2.15 düzenlenmesi gerekmektedir.

Denklem 2.15 şekil 2.22 de verilen j numaralı boyuna elemanın koordinat sistemine göre düzenlenir ve j numaralı boyuna elemanın y mesafe uzaklığındaki q yayılı kuvvetinden meydana gelen çökme değerini $Z(y)$ ile göstermek üzere denklem 2.67 elde edilir.

$$Z(y) = \left[-\frac{q L y^3}{12} + \frac{q y^4}{24} + \frac{q L^2}{24} y^2 \right] / EI_B \quad (2.67)$$



Şekil 2.22 j numaralı boyuna eleman

Denklem 2.67 yardımıyla j numaralı boyuna elemanın i,j noktasındaki çökme denklemi, $Z_{i,j}^{B(q)}$ i,j noktasındaki boyuna elemanın tekil kuvvetlerden meydana gelen çökme değeri olmak üzere denklem 2.68 elde edilir.

$$[Z_{i,j}^{B(q)}] = \left[-\frac{q L (bi)^3}{12} + \frac{q (bi)^4}{24} + \frac{q L^2}{24} (bi)^2 \right] / EI_B \quad (2.68)$$

Denklem 2.68 da her i, j noktası için bilinen q düzgün yayılı kuvvet değeri yerine yazılarak $[Z^{B(q)}]$ matrisi oluşturulur.

2.3.4 Denklemlerin Düzenlenmesi ve Çözümü

Enine ve boyuna elemanların kesişim noktalarındaki çökme değerlerinin eşit olduğunu gösteren denklem 2.46 üzerinde bilinen ve bilinmeyen değerlerin düzenlenmesiyle lineer bir denklem takımı denklem 2.69 ile elde edilir.

$$[Z^E] - [Z^{B(R)}] = [Z^{B(P)}] + [Z^{B(q)}]$$

$$[K^E][R] - [K^B][R] = [Z^{B(P)}] + [Z^{B(q)}]$$

$$[K] = [K^E] - [K^B] \text{ olmak üzere;}$$

$$[K][R] = [Z^{B(P)}] + [Z^{B(q)}] \quad (2.69)$$

$[K]$ katsayılar matrisi $m \times m$ boyutunda, $[R]$ destek kuvvetlerini oluşturan matris $m \times 1$ boyutunda, $[Z^{B(P)}]$ ve $[Z^{B(q)}]$ matrisleri ise $m \times 1$ boyutunda olup denklem 2.69 de gösterilen lineer denklem takımı herhangi bir sayısal yöntem ile çözülmesiyle tüm noktalar için R destek kuvvetleri hesaplanmış olur. R destek kuvvetlerinin çökme denklemlerinde yerine konulmasıyla her bir kesişim noktasındaki çökme değeri elde edilir.

2.3.5. Momentlerin ve Gerilmelerin Hesaplanması

Bu bölümde enine ve boyuna elemanlar üzerindeki moment ve gerilme denklemleri hesaplanacaktır.

2.3.5.a. Boyuna Elemanlardaki Moment ve Gerilmeler

Sistem üzerinde bulunan q , P , R kuvvetlerine bağlı olan boyuna elemanların moment denklemi denklem 2.70 ile gösterilebilir.

$$M_X(y) = M_{X(q)}(y) + M_{X(P)}(y) + M_{X(R)}(y) \quad (2.70)$$

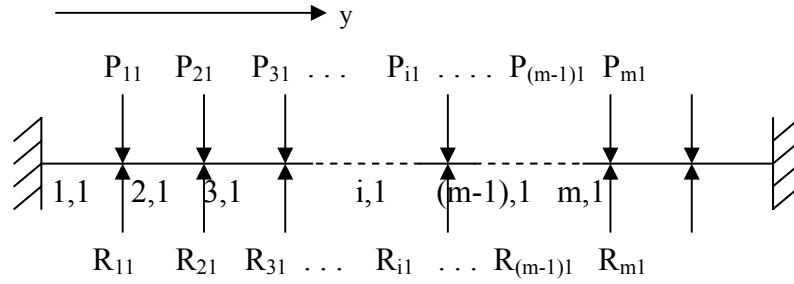
Sistem üzerinde q düzgün yayılı kuvvetine bağlı olan boyuna elemanlar üzerindeki moment değerlerinin hesaplanması için denklem 2.70 düzenlenmesi gerekmektedir.

Denklem 2.70 şekil 2.23 gösterilen j numaralı boyuna eleman için kullanılan koordinat sistemine göre düzenlenir ve j numaralı boyuna elemanın y mesafe

uzaklığındaki q yayılı kuvvetine bağlı olarak meydana gelen moment değerini $M_X(y)$ ile göstermek üzere denklem 2.71 elde edilir.

$$M_{X(q)}(y) = \left[-\frac{qL}{12}y^3 + \frac{q}{24}y^4 + \frac{qL^2}{24}y^2 \right] / EI_B \quad (2.71)$$

Sistem üzerindeki boyuna elemanların kesişim noktalarındaki P ve R tekil kuvvetlerine bağlı olan moment değerlerinin hesaplanması için denklem 2.33 düzenlenmesi gerekmektedir.



Şekil 2.23 Tekil kuvvetler altında j numaralı boyuna eleman

Denklem 2.33 şekil 2.23 de gösterilen j numaralı boyuna eleman için kullanılan koordinat sistemine göre düzenlenir ve P tekil kuvveti ve R destek kuvvetlerine bağlı olan moment denklemi denklem 2.72 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, m$$

$$y - s b > 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = y - sb$$

$$y - sb < 0 \Rightarrow \bar{Y}_s = 0$$

$$M_{X(P)}(y) + M_{X(R)}(y) = \sum_s^m P_{sj} \left[\bar{Y}_s - \frac{y}{2} - \frac{(L_B - sb)^2}{2L_B} + \frac{L_B}{4} \right] / EI_B - \sum_s^m R_{sj} \left[\bar{Y}_s - \frac{y}{2} - \frac{(L_B - sb)^2}{2L_B} + \frac{L_B}{4} \right] / EI_B \quad (2.72)$$

Denklem 2.71 ve denklem 2.72 den denklem 2.70 oluşturulur. Kirişin y eksenindeki maksimum gerilmeleri bulmak için $z_{\max}$ eleman kesitinde tarafsız eksenden en uzak mesafe olmak üzere denklem 2.73 kullanılır.

$$\sigma_{Y_{\max}} = M_x z_{\max} / I_B \quad (2.73)$$

2.3.5.b Enine Elemanlarda Moment ve Gerilmeler

Sistem üzerinde yapılan yükleme sonucunda enine elemanlar üzerindeki moment değerlerinin hesaplanması için denklem 2.42 düzenlenmesi gerekmektedir.

Denklem 2.42 şekil 2.14 de gösterilen i numaralı enine elemanın koordinat sistemine göre düzenlenir ve enine elemanların kesişim noktalarında yapmış olduğu R destek kuvvetlerinin etkisi altında i numaralı enine elemanın x mesafe uzaklığındaki moment değerini $M_Y(x)$ ile göstermek üzere denklem 2.74 elde edilir.

$$s = 1, 2, \dots, n$$

$$x - s a > 0 \Rightarrow \overline{X_s} = x - s a$$

$$x - s a < 0 \Rightarrow \overline{X_s} = 0$$

$$M_Y(x) = - \sum_s^n R_{is} \left[\overline{X_s} - \frac{x}{2} \right] / E L_E \quad (2.74)$$

Enine elemanlar üzerindeki gerilmeleri bulmak için $z_{\max}$ eleman kesitinde tarafsız eksenden en uzak mesafe olmak üzere denklem 2.75 kullanılır.

$$\sigma_{X_{\max}} = M_y z_{\max} / I_E \quad (2.75)$$

3. DENEYSEL UYGULAMA

3.1. Modelin Oluşturulması

Bu bölümde modelin nasıl oluşturulduğu ve oluşturma sırasında karşılaşılan zorluklar anlatılmıştır.

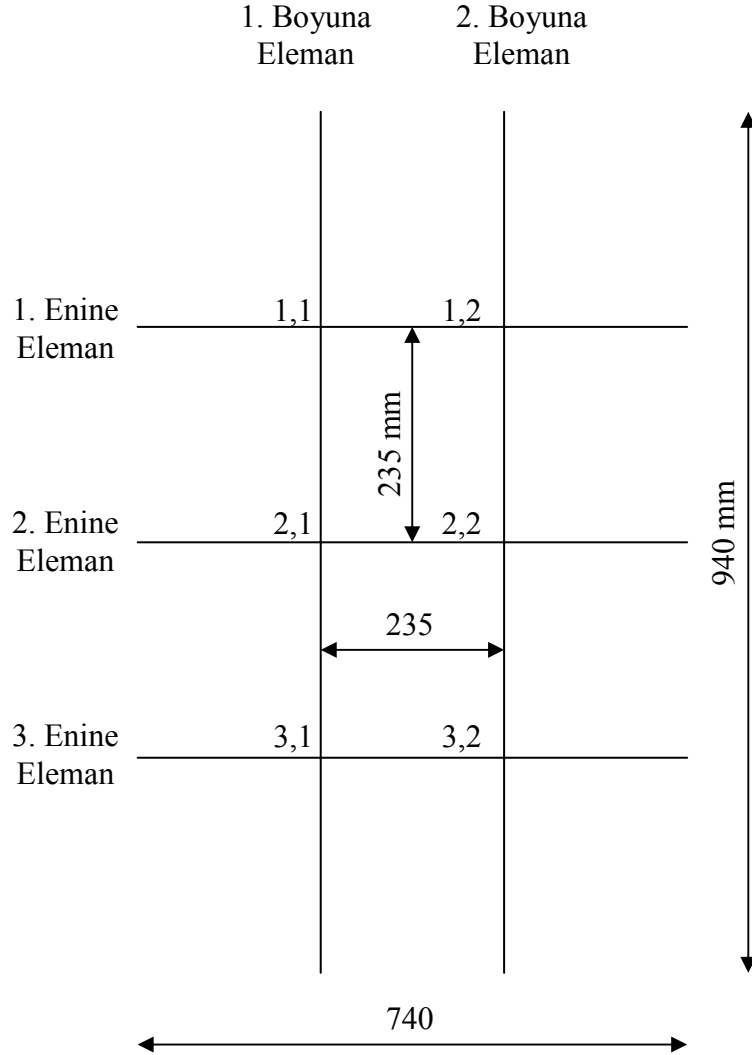
Izgara sistem analizi ile gemi dip yapısının modellenmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan model ile ızgara sistemi analizi ile elde ettiğimiz sonuçların gerçeğe olan yakınlığı incelenmektedir. Modelin boyutları elde edilen malzemelere göre belirlenmiştir.

Sistem üzerinde analizden elde edilen sonuçların doğruluğunu kontrol etmek için bir takım değerler almak gerekmektedir. Bu iş için en uygun olarak strain-gauge rozetleri görülmüştür. Strain-gauge rozetleri yardımıyla yapıştırıldığı noktadaki şekil değiştirme oranını ölçme aleti üzerinden okunabilmektedir. Şekil değiştirme oranından eğilme momentine geçilerek karşılaştırma yapılabilecektir.

Izgara sisteminde enine ve boyuna elemanlar için kullanılacak olan profillerin bazı standartları olması gerekmektedir. Malzemenin özelliklerinin malzeme boyunca değişmesi durumunda ve profillerin ebatları profil boyunca sabit olmaması durumunda düzgün veri elde edilemez. Gerilme analizi için kullanılacak Strain-Gauge rozetlerinin hassasiyeti de göz önüne alınırsa kolay şekil değiştiren bir malzeme daha uygun olacaktır. İstenilen özelliklere en uygun malzeme olarak alüminyum görülmüş ve ızgara sistemini oluşturmak üzere alüminyum profiller kullanılmıştır.

Elde edilen alüminyum profillerin kalınlıkları 2mm, uzunlukları 1 m ve yükseklikleri 15 ve 20 mm den oluşmaktadır. Sistem üzerinde boyuna elemanlar basit, boyuna elemanlar ankastre olarak mesnetlenmektedir. Boyuna elemanları 20mm yüksekliğe sahip profillerden, enine elemanları 15 mm yüksekliğe sahip profillerden oluşturulmuştur. Kurulacak modelde 2 adet boyuna eleman ile 3 adet enine eleman bulunmaktadır. Boyuna elemanların boyu 940mm, enine elemanların boyu 705mm

uzunluğundadır. Enine elemanlar arası mesafe ile boyuna elemanlar arası mesafe birbirine eşit olup değeri 235mm dir. Model boyutları şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1 Izgara Sistem Modeli

Sistemin sınır şartlarını oluşturmak üzere profillerin uç noktalarını birleştiren bir çerçeve oluşturulmuştur. Çerçeve çeşitli ebatlarda köşebent kullanılarak yapılmıştır. Enine elemanların uç noktalarında dönmeyi serbest bırakacak, çökmeyi sıfırlayacak şekilde bir noktadan temas etmesi yeterlidir. Boyuna elemanlarda uç noktalar çerçeveye bağlanarak çökme ve dönme sıfırlanacaktır.

3.1.1. Profillerin Birleştirilmesi

İlk düşünölen yöntem profilleri alüminyum kaynağı ile birleştirmek olmuştur. Alüminyum kaynağı ile birleştirme işlemi için ön ısıtma işlemi gerekmektedir. Alüminyumun ısı genleşme katsayısı çok yüksektir. Profillerin ön ısıtma işleminde tüm profilleri aynı anda ısıtma gereğı duyulmaktadır. Ön ısıtma işleminin düzgün yapılmaması neticesinde sistemin çarpılması kaçınılmazdır. Eldeki olanaklar ön ısıtma işlemine izin vermediğinden alüminyum kaynağı ile profillerin birleştirilmesinden vazgeçilmiştir.

İkinci düşünölen yöntem profilleri yapıştırmak olmuştur. Çeşitli yapıştırıcılar incelenmiştir. Ön denemeler sonucunda çelik macunların uygun olacağına karar verilmiştir.

Çelik macunların kullanıldığı yerler:

- Camın ahşaba, ahşabın demire, mermerin cama v.b. farklı maddelerin birbiri ile yapıştırılmasında;
- Motor blok çatlaklarının onarımında, radyatör deliklerinin kapatılmasında;
- Su borularında;
- Havuz, banyo gibi ıslak ortamların onarılmasında;
- Sanayi ve otomotiv sektöründeki her türlü tamiratta;

3.1.1.a. Uygulama

Önce yapıştırılacak yüzeyler temizlenip yağ, pas, toz gibi maddelerden arındırılmalıdır. Sert plastik gibi malzemeleri biraz zımparalanıp dişlendirilmelidir. Ambalajın içinde mavi ve sarı renklerde iki komponent bulunmaktadır. Bu iki komponentten eşit miktarda ihtiyaç kadar alarak temiz bir spatül yardımıyla tamamen yeşil renk alana kadar elle yoğrulduktan sonra yapıştırılacak olan yüzeye tatbik edilir. Oda sıcaklığında 3 saatte sertleşir daha sonra zımpara, tesviye, delme ve boyama işlemleri yapılabilir.

Çelik macunların teknik özellikleri:

- Sıcaklık dayanımı: 200 °C
- Basınç dayanımı: 800 kg/cm²
- Çekme dayanımı: 300 kg/cm²
- Sertleşme süresi oda sıcaklığında 3 saat.
- Su altında sertleşme süresi 3 saat.

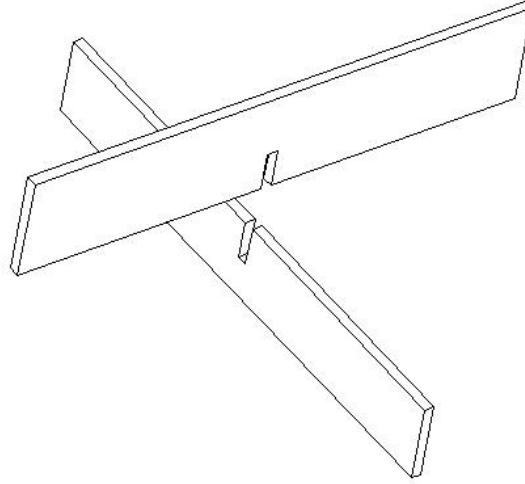
Çelik macunun alüminyum profil ile uyumunu görmek için iki küçük alüminyum profil birbirleriyle yapıştırılmıştır. Birbirine dik olarak yapıştırılan profillerin az bir kuvvet ile koptuğu görülmüştür. Kopmuş olan yer incelendiğinde macunun zımparalanmış olan bölgedeki çiziklerin içine tam nüfus etmediği görülmüştür. Bunun nedeni oluşturulan çiziklerden yoğunluğu fazla olan macunun geçememesidir. Çiziklerin derinliklerinin artırılması ve macunun malzemeye uygulanması esnasındaki basıncın artırılması yapışmanın daha güçlü olmasını sağlayacaktır. Profillerin üzerine etki edecek olan kuvvetlerin büyüklüğünü hesaba katarsak tek başına çelik macun yetersiz olacaktır.



Şekil 3.2 Enine ve boyuna elemanların birleştirme işçiliği

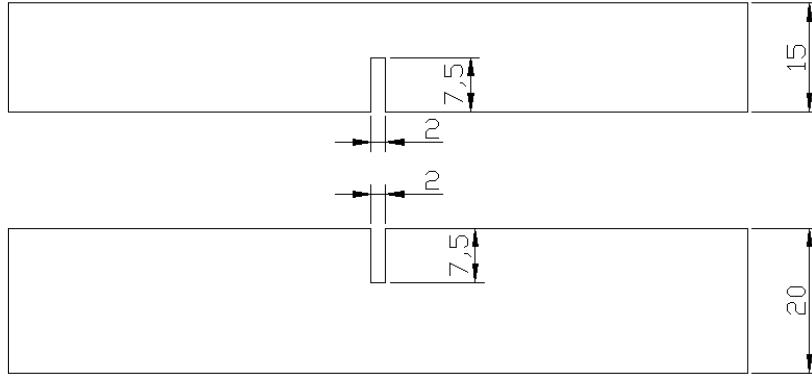
Çözüm olarak çelik macunun profilleri bağlamak için kullanılması yetersizdir ama macunun kendisi çok iyi katılaştığı bilindiği ne göre; enine ve boyuna profillerin sürekliliği bozulmadan birleşme yerlerinde kanallar açılmak suretiyle birbirlerinin içinden geçmesi sağlanmış zımparalanmış ve pürüzlülüğü artırılmıştır. Daha sonra bu bölgeler çelik macun ile dört tarafından ve üzerinden macunlanıp yapıştırılmıştır. Böylelikle profiller macunun içine hapsedilmiştir. Bu durumda sistemin üzerine yük

geldiği zaman yük macun yerine profiller tarafından karşılanmaktadır. Yapılacak olan deneyde yükleme elastik bölge dışına çıkmayacağı için birleşme noktalarına fazla kuvvet gelmeyecektir. Macun kullanılmaması durumunda bile elemanların birbirlerini taşıması gerekmektedir. Macun kullanılmasıyla sistemde güvenlik artırılmıştır ve profillerin çarpılmamasını sağlamıştır. Macunun profillere tatbiki şekil 3.2 de gösterilmektedir.



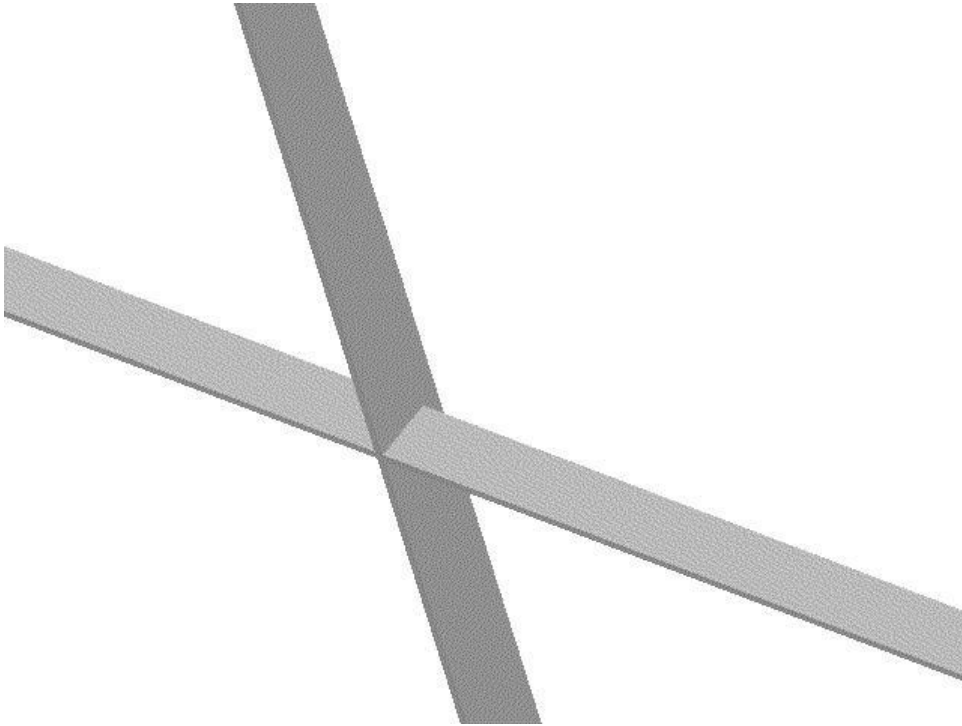
Şekil 3.3 Profillerde açılan kanalların gösterimi.

Profillerin kalınlıkları enine ve boyuna elemanlarda sabit olup 2 mm kalınlığındadır. Sistemde boyuna elemanlar yükü, enine elemanlarda boyuna elemanları taşıyacaklardır. Bu durumda en üstte boyuna elemanlar ve altında enine elemanlar olması gerekmektedir. Boyuna elemanlar 20 mm yüksekliğine sahip, enine elemanlar ise 15 mm yüksekliğine sahiptirler. Elemanların kesişme noktalarına 7.5 mm derinliğinde, 2 mm genişliğinde kanallar açılmıştır. Şekil 3.3 de gösterildiği gibi açılan kanalların üst üste gelmesi suretiyle elemanların birleştirilmiş olur. Bu kanal açma işleminin yeterli hassasiyette gerçekleştirmek için planya tezgahı kullanılmıştır. Profiller üzerinde açılacak kanalların boyutları şekil 3.4 üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Kanalların Boyutları

Profillerin kanallar yardımı ile birleştirilmesiyle elde edilen sistem yeterli derecede sağlam olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.5 dan görüldüğü üzere elemanların alt yüzeyi aynı düzlemde, boyuna eleman enine elemanın üzerine binmektedir.



Şekil 3.5 Profillerin birleşme yerlerinin gösterimi.

Yapıştırma işlemi ilk olarak zımparalama işlemi yapılacaktır. Bunun için kanallardan birleştirilen profiller ayrılır ve kalın bir zımpara kağıdı ile zımparalanır. Bu işlem oldukça zahmetli ve kesişim noktası sayısı fazlalığı nedeniyle uzun sürmektedir. Zımparalama işlemi sırasında fazla kuvvet uygulanması veya hızlı bir şekilde zımpara kağıdının alüminyum profile teması sonucunda profil ısınmaktadır. Kanal açılması nedeniyle atalet momenti düşen profil ısının da etkisiyle en ufak çarpma neticesinde deformasyona uğramaktadır.

Sistemi oluşturmadan önce strain gaugelerin yapıştırılacağı yerlerin belirlenip kalın zımpara kağıdı ile zımparalanması ve profilin yüzeyinde bulunan boya tabakasından temizlenmesi gerekmektedir. Eğer bu işlem daha sonraya kalırsa sistemin yanıl kuvvetlere karşı mukavemetinin az olmasından ötürü zımparalama işlemi sırasında sistem çarpılabilir.

Çelik macunun 15 dakika gibi kısa bir sürede katılaşmaya başlamaktadır. Katılaşmış olan çelik macun parçasının üzerine tekrardan macun tatbik edilmesi durumunda zımparalanmaya gerek olmadan yapıştığı gözlenmiştir. Çelik macunun yetmemesi veya uygulamaya vakit bulunamadan donması durumunda yeniden macun yapılarak katılaştıran macunun üzerine uygulanması mümkün olacaktır.



Şekil 3.6 Kullanılan Yapıştırıcılar

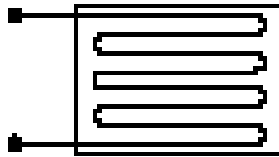
Şekil 3.6 da gösterilen çelik macun paketi açılarak sarı ve mavi komponentin ilk etap olarak yarısı kullanılmıştır. Yoğunlukları fazla olan macunların karıştırma işlemi oldukça güç istemektedir. Tam olarak karışarak yeşil renk olan karışım ilk önce 1 numaralı boyuna eleman üzerinde kullanılmıştır. Kanallar üzerine çok küçük bir miktar konulmuştur. Boyuna elemanın kesişme yerlerine bağlantılı oldukları enine elemanların kanalları geçirilmiştir. İyice bastırılarak araya konulan karışımın dışarı taşması sağlanmıştır. Artan karışım üç parçaya bölünmüş ve kesişme yerlerine uygulanmıştır. Bu üç kesişim noktası için yapılan işlem yaklaşık 10-15 dakika sürmektedir. İkinci boyuna eleman için ayrılan çelik macunun kullanılmıştır.

Mümkünse çelik macun kullanılması katılaştıran macunun elden temizlenmesi oldukça zor olmasından ötürü bir seferde yapılmalıdır.

3.1.2. Strain Gauge Rozetlerinin Yapıştırılması

Üç boyutlu bir elemanda şekil değiştirme her üç boyutta birden meydana gelir. Böyle bir elemanın direncinin değişimini incelersek hangi ekseninde ne büyüklükte deformasyon olduğunu anlamak imkansızdır. Ayrıca parçanın boyutları büyükse parça üzerinden direkt olarak ölçüm imkansızdır. Bu nedenlerden dolayı istediğimiz bir ekseninde ölçüm yapabileceğimiz yardımcı bir alete ihtiyacımız vardır. Bu yardımcı aletin adı Strain-Gauge Rozeti'dir.

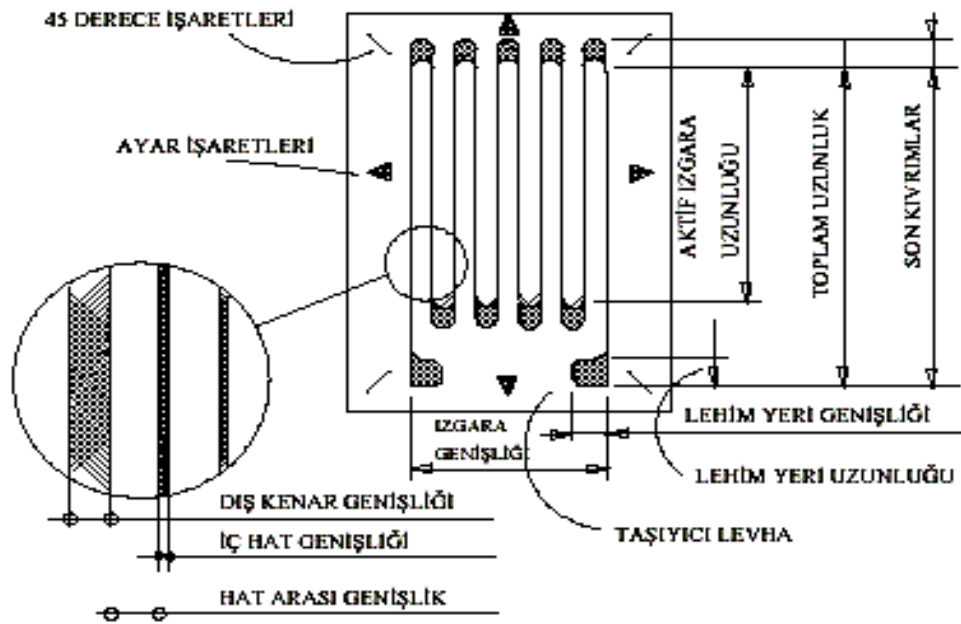
Şekil 3.7 de şematik olarak gösterilen bu rozetler bir doğrultuya yönlendirilmiş dairesel kesitli bir teli içeren yalıtılmış elemanlardır. Bu rozeti ölçüm yapmak istediğimiz parçanın üstüne istediğimiz doğrultuda yapıştırıp direnç değişimini ölçebiliriz ve bu yolla birim şekil değiştirmeyi hesaplayabiliriz .



Şekil 3.7 Strain-Gauge Rozeti

Strain-Gauge Rozetlerinin genel özellikleri

- Boyutları son derece küçük olmalı.
- Çok küçük bir kütleye sahip olmalı.
- Ölçüm yapılacak parçanın üstüne kolaylıkla yapıştırılabilmeli.
- Deformasyonlara karşı yüksek duyarlılık olmalı.
- Sıcaklık ve nem gibi çevre koşullarından fazla etkilenmemeli.
- Dinamik ve statik deformasyonlarda ölçüm yapmaya yeterli olmalı.
- Uzaktan ölçme yapılabilmesi (hareketli parçalar için).
- Ucuz olmalı.
- Çok küçük bir ölçü boyunu karakterize edebilmeli.
- Uzun süre kullanılabilme imkanı olmalı.
- Eski şekline kolaylıkla dönebilmeli (esnek olmalı).



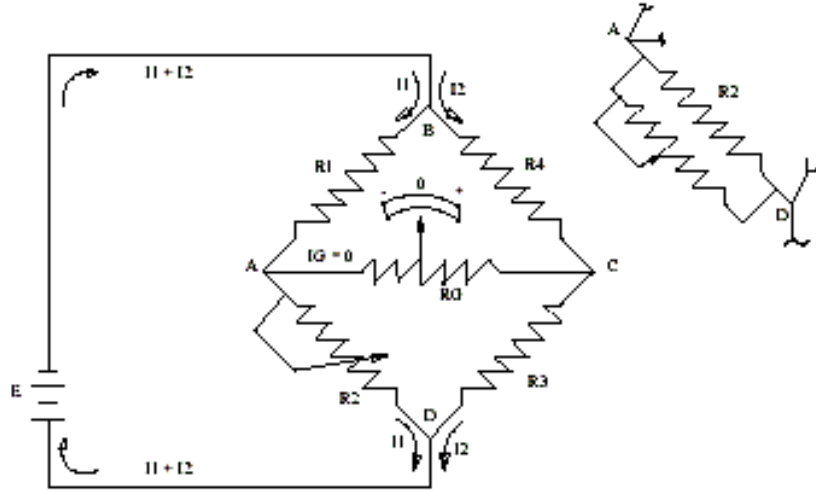
Şekil 3.8 SR-4 tipi Strain-Gauge rozeti

Bu özellikleri taşıyan çok sayıda Strain-Gauge rozeti çeşidi üretilmektedir. Bunlardan en çok kullanılanı şekil 3.8 de gösterilen SR-4 tipi Strain-Gauge rozetleridir. Bu rozet 127 mm. uzunluğunda ve 25 mikron çapında telden yapılmıştır. Ayrıca iki eksenli ve daha fazla eksenli ölçme yapabilmek için içinde bir çok eksen doğrultusunda tel barındıran rozetler vardır.

Statik veya çok yavaş değişen deformasyonların ölçümü için "ADVANCE" tipi Strain-Gauge kullanılır. Bu tip Strain-Gauge rozetleri sıcaklıktan fazla etkilenmezler. Dinamik yüklerin ölçülmesinde ise "ZOELASTİK" rozetler kullanılır. Bu rozetler çok az bir uzamaya bile çok duyarlıdır. Ayrıca 65°C'nin altında yapılacak çalışmalar için "DUCO" tipi rozetlerin kullanılması uygundur. Bu rozetlerin yapıştırılması ve kuruması kolaydır. Çalışmalar sırasında sıcaklık 65°C ile 230°C arasında bulunacak ise "BAKALİT" tipi rozetler kullanılır [6].

3.1.2.a. Ölçme Yöntemi

Strain-Gauge Rozetlerinin direnç değişiminin Wheatstone köprüsü yardımıyla ölçülebilir.



Şekil 3.9 Wheatstone Köprü Sistemi

Şekil 3.9 da denge durumunda bulunan bir Wheatstone köprü sistemi gösterilmiştir. Bu durumda [AC] uçlarına bağlayan galvanometre ibresi sıfırı göstermektedir. B noktasındaki akımın dallanması KIRCHOF yasaları ile açıklanabilir. A ve C arasındaki potansiyel farkı sıfır olacağından:

$$E_{B-A} = E_{B-C} \quad I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_4$$

$$E_{A-D} = E_{C-D} \quad I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_3$$

Yukarıdaki denklemleri taraf tarafa oranlarsak :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad R_1 = \frac{R_4}{R_3} R_2$$

Burada R_1 , Strain-Gauge 'in direncidir. Strain-Gauge deformasyon sonunda uzar veya kısılır. Sonuçta meydana gelen direnç değişimini R_4/R_3 oranına bağlı olarak R_2 'den bulabiliriz. Parça şekil değişikliğine uğradıktan sonra galvanometre sıfırlanarak R_1 'deki değişim saptanır. R_1 'deki değişme miktarı ile birim uzama arasında sabit bir oran vardır, “K” Strain-Gauge sabiti. Bu sabit genellikle 2'dir.

Yukarıda anlatılan yöntemde yapıştırılan Strain-Gauge yalnızca bir tanedir, diğer dirençler ölçme aletinin üzerinde olanlardır. Bu tür devrelere çeyrek köprü devreler denir. Eğer köprü devresindeki dirençlerin dördü de parça üzerine yapıştırılmış ise bu tür devrelere tam köprü devreler denir. Hesap yöntemi aşağıdaki gibidir:

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

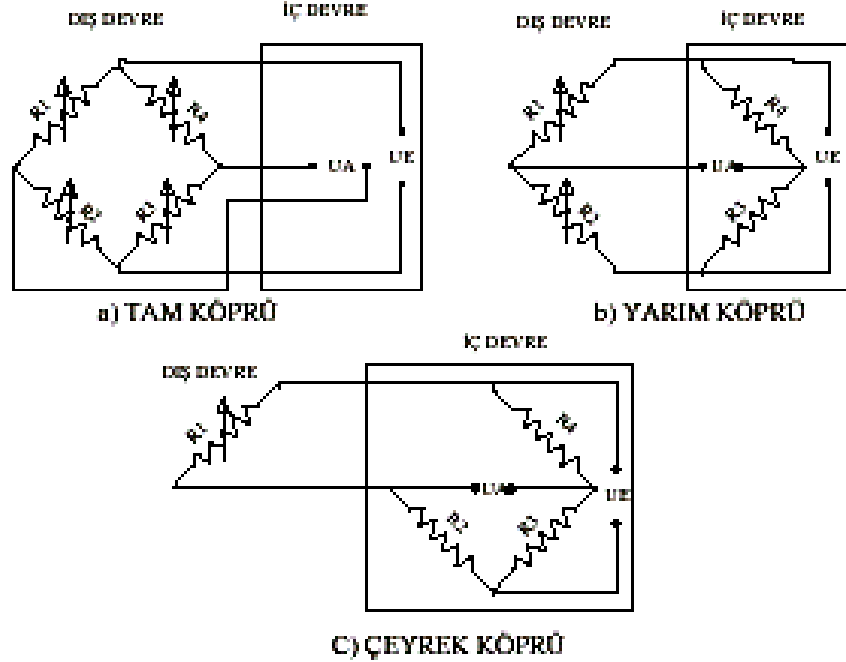
Denge durumunda $U_A = 0$ 'dır.

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

Pratikte köprü kollarındaki rölatif değişimin çıkış voltajı ile orantılı olmasını sağlamak için, $R_1 - R_2$ ve $R_3 - R_4$ çiftleri eşit olacak şekilde veya hepsi eşit olacak şekilde seçilir. Eğer $R_1=R_2=R_3=R_4$ ve $\Delta R/R=k \epsilon$ kabulleri yapılırsa:

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{k}{4} (\epsilon_1 - \epsilon_2 + \epsilon_3 - \epsilon_4) \quad \text{olur.}$$

Yukarıda belirtilen köprülerin haricinde sadece iki Strain-Gauge rozetinin parçaya yapıştırıldığı yarım köprü devreleri vardır. Bu devrelerin hepsi şekil 3.10'da topluca gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Köprü Devreleri

Strain-Gauge ölçümlerinin yapıldığı aletleri üç ana grupta toplayabiliriz.

- Seyyar ölçme aletleri.
- Ölçme yapmak için özel geliştirilen büyük aletler.
- Bilgisayarlı ölçme.

Seyyar ölçme aletleri sadece bir Strain-Gauge ölçmesi yapabilen basit aletlerdir. Bu aletlerle tam, yarım ve çeyrek köprü devreleri kurulabilir. Ölçme yapabilmek için firmalar tarafından yalnız ölçme amacıyla geliştirilmiş özel aletler vardır. Bu aletlerle aynı anda 1000 adet köprü devresi kurabiliriz. Büyük aletler bir saniye içinde 1000 adet köprüyü birkaç defa okuyabilecek kadar hızlıdır. Sonucu direkt olarak şekil değiştirme ($[m/m]$) şeklinde verirler. Deneyde kullanılan ölçme aleti dijital ve bilgisayara bağlanabilir özelliğine sahiptir. Aynı anda on tane strain-gauge rozeti için ölçüm okunabilmektedir [6].

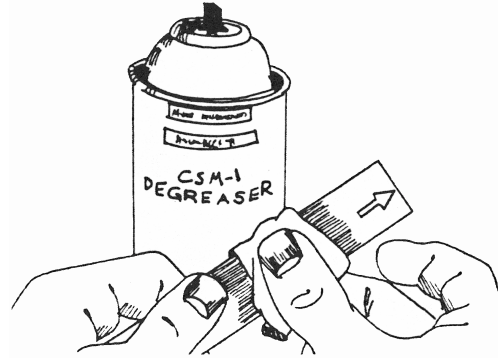
3.1.2.b. Strain-Gauge Rozetlerinin Profiller Üzerine Yapıştırılması

Sistemde yapıştırılmak üzere toplam 7 adet strain gauge rozeti kullanılmıştır. Kullanılan strain gauge rozetlerinin özellikleri:

- Firma: Tokyo Sokki Tenkyujo
- Model : PL-10 ve PLS-10
- Uzunluk: 10 mm
- Direnç : $120 \pm 0.3 \Omega$
- Strain gauge sabiti : 2.11

Measurements Group adlı firma tarafından verilen kurulum talimatları firmanın ürettiği malzemelerle birlikte anlatılacaktır.

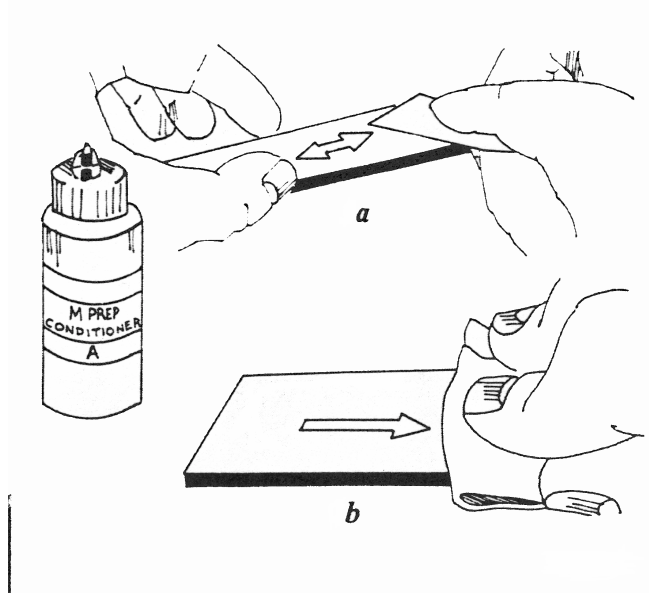
Strain gauge yapıştırılacak olan alan CSM-I adlı yağ çözücü veya GC-6 izopropil alkol gibi bir çözücü ile temizlenir. Titanyum veya plastik türü malzeme üzerine strain gauge yapıştırılacaksa GC-6 izopropil alkol reaksiyona girme ihtimalinden ötürü tercih edilmelidir.



Şekil 3.11 Ön temizleme işlemi

Ön hazırlık olarak 220 veya 230'luk silikon taşlı zımpara kağıdı ile kuru olarak zımparalanır. Son kat zımparada ise 320 veya 400'lük silikon taşlı zımpara kağıdı M-

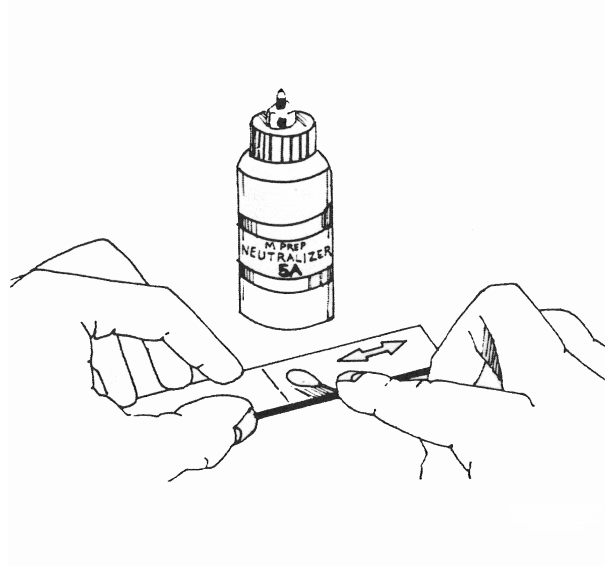
Prep Conditioner A ile nemlendirilmiş yüzey üstüne uygulanır. M-Prep Conditioner A orta kuvvette asitlik özelliğine sahip bir solüsyon olup temizleme işlemini daha hızlı hale getirmektedir. Bu işlemde hemen sonra bir gazlı bez ile zımparalanan bölge silinir. Tahta veya magnezyum yüzey üzerine kullanılmaması gerekmektedir. Zımparalama işlemi sonunda gerilme analizi yapılacak olan bölgenin yüzey pürüzlülüğü 1.6 –3.2 µm arasında olmalıdır.



Şekil 3.12 Zımparalama işlemi

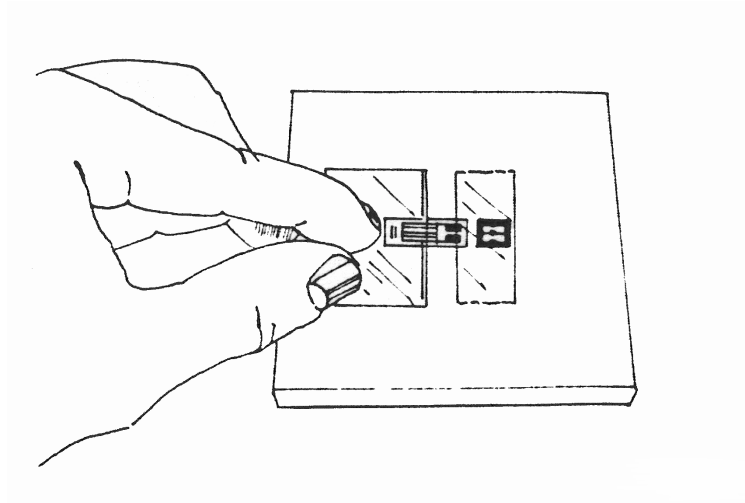
Strain gauge yapıştırılacak malzeme alüminyum ise 4H kalemle, çelik ise tükenmez kalem ile hizalanmanın yapılacağı yer çizilir ve hemen M-Prep Conditioner A uygulanır. Pamuk uçlu temizleme çubukları kullanılarak yüzey temizlenir. Kalan tüm artık ve Conditioner temiz bir gazlı bez ile yavaşça temizlenir. Yüzey üzerinde kurumaya bırakılacak herhangi bir solüsyon ince bir film tabakası oluşturarak düzgün bir yapışma ihtimalini azaltacaktır.

Bir parça M-Prep Neutralizer 5A (yüzeyin ph derecesini 7 ila 7.5 arasına getirmek için kullanılır.) pamuk uçlu temizleme çubukları ile yavaş bir şekilde uygulanır. Uygulama sonrasında bir parça gazlı bez ile tek yönde hareket ederek kalıntı bırakmadan temizlenmelidir.



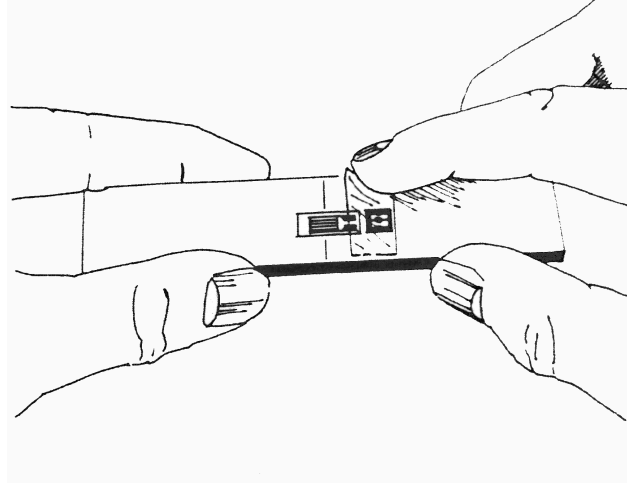
Şekil 3.13 Son kat temizleme işlemi

Strain gauge koruyucu kılıfından cımbız yardımıyla çıkartılır. Yapıştırılacak olan kısım aşağıda olacak şekilde temizlenmiş olan bölgeye hizalama çizgileri çakışacak şekilde yerleştirilir. Kablo ile strain gauge bağlantısını yapmak üzere kullanılacak olan lehim terminali yerleştirilir.



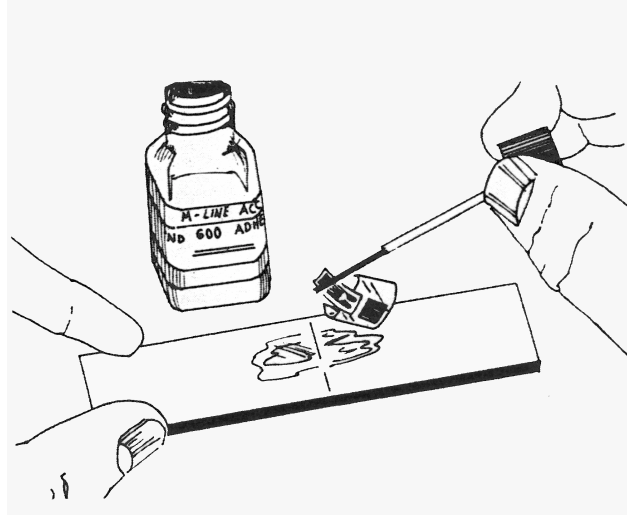
Şekil 3.14 Rozet ve terminal üzerine bant yapıştırılması.

Bir parça MJG-2 bandı kullanılarak lehim yerinin yaklaşık yarısı ve terminallerin tamamını kapsayacak şekilde üzerlerine yapıştırılır.



Şekil 3.15 Bandın bir ucundan sökölme işlemi.

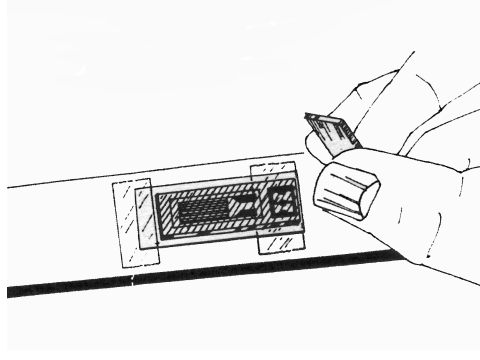
Yapıştırılan strain gauge ve terminalin üzerinde bulunan bant bir ucundan yarısına kadar açılarak diğer taraf üzerine ters çevrilir. Strain gauge ve terminalin yüzey üzerinde temas edecek yerlere ve strain gauge ile terminal yüzeyine ince bir miktar yapıştırıcı sürölür. Bu işlem sırasında yapıştırıcının bant ile temas etmemesine dikkat edilmelidir. Sürölün yapıştırıcı 24°C ve %50 nem bulunan havada 5 ila 30 dakika arasında kurumaya bırakılır. Daha düşük sıcaklık veya daha yüksek nem oranlarında daha uzun süre beklenebilir.



Şekil 3.16 Yapıştırıcı sürölmesi işlemi

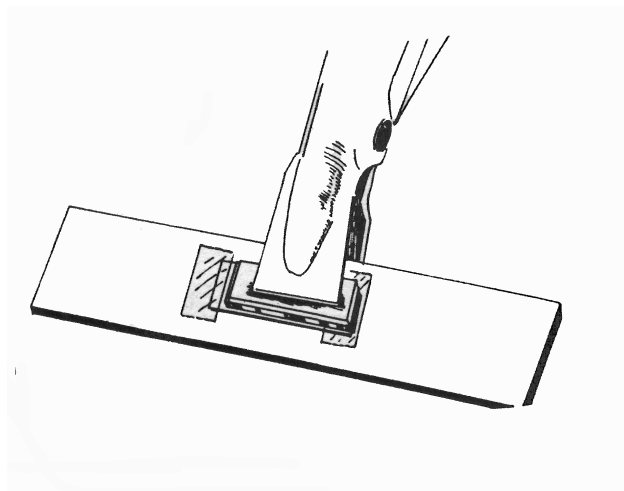
Bant eski konumuna yapıştırılarak terminal ve strain gauge yerleştirilmiş olur. Birleştirme işlemi için sadece yeterli basıncın uygulanması gerekmektedir. Strain gauge ve terminalin üzeri ince bir teflon kağıdı parçasıyla kapatılır. Gerekli görülürse

kenarlarından bantla yapıştırılır. Ebatları strain gauge ve terminal alanından çok az daha büyük olarak kesilmiş olan 2.5 mm kalınlığındaki silikon parça ve metal plaka strain gauge ve terminal üzerine yerleştirilir. Kullanılacak olan silikon ve metal parçaların yapışması gereken alandan büyük olması durumunda yapıştırıcı homojen olarak yayılamayacaktır.



Şekil 3.17 Teflon ve silikon parça konulma işlemi.

Yaylı mengene kullanarak veya üzerine ağırlık koymak suretiyle basınç uygulanır. Uygulanacak olan basınç 70 kN/m^3 ile 480 kN/m^3 arasında olmalıdır. Sistem mengene ile birlikte soğuk fırına konularak dakikada 3 ila 11°C artımlar ile M-Bond 43-B tipi yapıştırıcısı kullanılması durumunda 190°C 'ye kadar ısıtıp 2 saat beklenmeli, M-Bond 600 tipi yapıştırıcı kullanılması durumunda da 125°C 'ye kadar ısıtıp 1.5 saat beklenmesi gerekmektedir. Yapıştırıcının sürülmesinden fırına verilmesine kadar geçen süre en fazla M-Bond 600 tipi yapıştırıcı için 30 dakika, M-Bond 43-B tipi yapıştırıcı içinse 24 saat olmalıdır.



Şekil 3.18 Yaylı mengene ile sıkıştırılma işlemi.

Fırında ısıtma ve bekleme süresi geçtikten sonra sistemin yaklaşık 55 dereceye kadar soğuması beklendikten sonra fırından çıkartılır. İlk önce mengene ve bantlar sökülür. Artık yapışkanların çıkartılması için M-LINE reçine çözücüsü kullanılır ve gazlı bez yardımıyla silinir [7].

Yapıştırma İşlemi

Öncelikle strain gauge yapıştırılacak yüzey çok iyi zımparalanmış ve temizlenmiştir. Zımparanın yeterli pürüzlükten uzak olması doğru sonuç almamızı engelliyecektir. Amaç Strain-Gauge rozetinin kaymasını önlemek ve ölçüm yapılmak istenen malzeme ile temasını sağlamaktır. Kullanılan alüminyum profillerin üzeri boya ile kaplıdır. Zımpara işlemende ilk önce kalın zımpara ile boyanın zımparası sağlanmış daha sonra ise ince zımpara ile fazla olan pürüzlülük giderilmiştir.

Zımparalan yüzey aseton ve gazlı bez yardımı ile temizlenmiştir. Temizleme işleminden sonra Strain-Gauge rozetinin yapıştırılacağı yüzey bir iğne yardımıyla işaretlenmiştir. Yüzey üzerine artı işareti çizmek yeterli olacaktır.

Strain-Gauge rozetlerinin merkezi profilin tarafsız ekseninden mümkün olduğu kadar uzakta bulunması gerekmektedir. Strain-Gauge rozetinin profilin tarafsız eksen üzerine gelmesi durumunda herhangi bir şekil değişimi ölçülemeyecektir.



Şekil 3.19 üç numaralı rozet.

İşaretlenen bölge aseton ve gazlı bez yardımı ile bir kez daha temizlenmiştir. Strain-Gauge rozeti işaretin üzerine getirilerek işaretin düzgünlüğü kontrol edilmiştir. Şeffaf bant, Strain-Gauge rozetinin yüzeye yapışmaması gereken bölge olan uç kısmı kapsayacak şekilde profil üzerine yapıştırılır.

Yapıştırıcı olarak Japon yapıştırıcısı kullanılmıştır. Strain-Gauge yapıştırılmak üzere koruyucu kılıfından cımbız yardımıyla çıkartılmış ve yapışması gereken yüzeyine yapıştırıcı ince bir tabaka halinde düzgün olarak dağıtılmıştır. Strain-Gauge rozeti cımbız yardımıyla temizlenmiş olan bölgeye hizalama çizgileri çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Strain-Gauge rozetinin üzeri ince bir teflon kağıdı parçasıyla kapatılmıştır. Silikon plaka Strain-Gauge rozetinin üzerinde olacak şekilde mengene yardımıyla Strain-Gauge rozeti sıkıştırılmıştır. Yaklaşık olarak 2 saat kurumaya bırakıldıktan sonra mengene, silikon plaka ve teflon kağıt sökülmüştür. Aynı işlem tüm Strain-Gauge rozetleri için tekrarlanmıştır. Fırınlama işlemi yapılamamıştır.

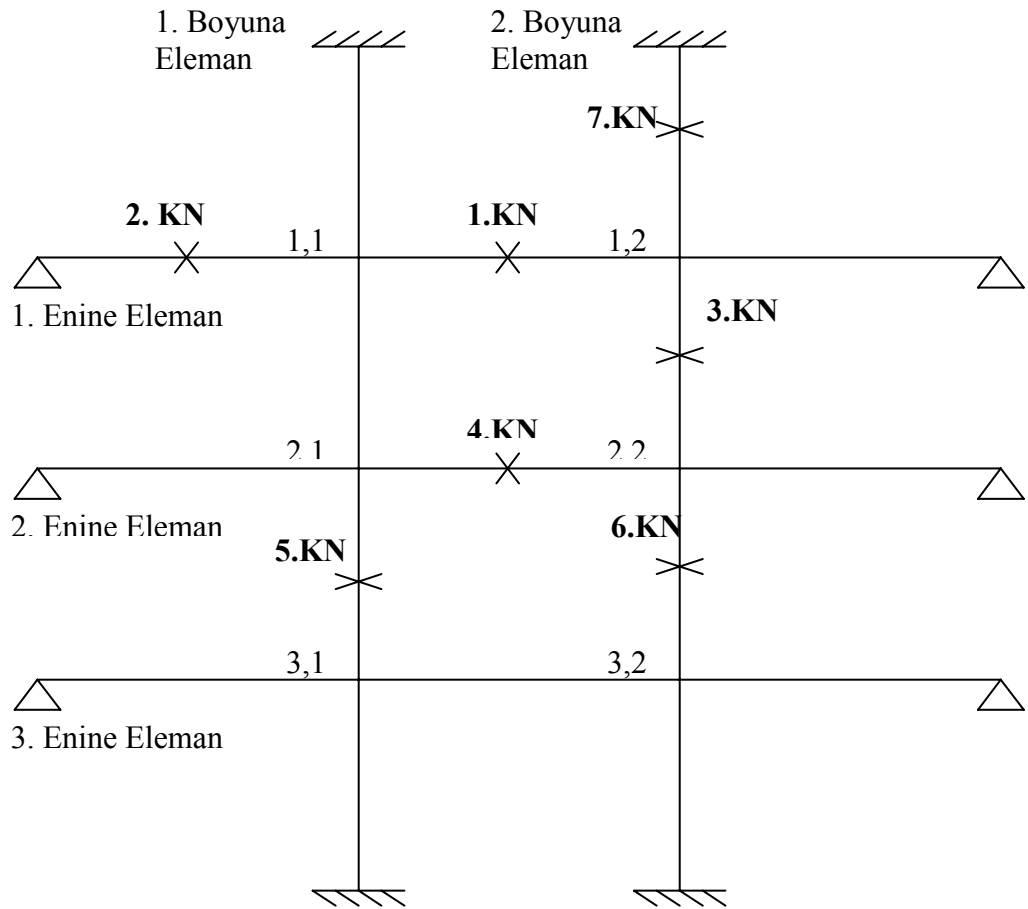
Zımparalanan bölgenin temizlenmesi ekte belirtilen özel solüsyonlar ile yapılabileceği gibi içeriği solüsyonlar ile aynı olan asetonlar kullanılabilir. Bu temizleme işlemi en önemli detaylardan bir tanesidir. Temizleme işlemi sonucunda malzeme üzerinde hiçbir madde kalmamalıdır. Kullanılan asetonun parfümsüz olmasına dikkat edilmiş olmasına rağmen içinde katkı maddesine sahip olmasından malzeme üzerinde ayrı bir tabaka oluşmuş ve sonuçların düzgünlüğü tüm strain gauge rozetleri için aynı olmamıştır.

Kullanılan yapıştırıcı olarak Japon yapıştırıcısı kullanılmıştır. Bunun dezavantajı ise çok hızlı reaksiyona girip donmasından ötürü hareket serbestliği sağlamamıştır. Yeteri kadar el yatkınlığı olmamasından ve strain gaugelerin küçük olması yapıştırma işlemini zorlaştırmıştır.

Yedi adet strain gauge rozeti tablo 3.1 deki koordinatlara göre ızgara sistemi üzerinde yapıştırılmıştır. Tablo 3.1 deki 1. sütun strain gauge rozetinin numarasını, 2. sütun strain gauge rozetinin yapıştırıldığı elemanı, 3. sütun strain gauge rozetinin orta noktasının yapıştırıldığı elemanın uç noktasından mesafesini, 4. sütun ise strain gauge rozetinin orta noktasının yapıştırıldığı elemanın tarafsız ekseninden olan mesafesini göstermektedir.

Tablo 3.1 Kontrol noktalarının sistem üzerindeki yerleri.

KN	Eleman	Mesafe	Yükseklik
1	1. Enine eleman	354,4 mm	3,9 mm
2	1. Enine eleman	100 mm	4,9 mm
3	2. Boyuna eleman	356 mm	7,4 mm
4	2. Enine eleman	243 mm	3,9 mm
5	1. Boyuna Eleman	481 mm	7,2 mm
6	2. Boyuna eleman	471,1 mm	6,4 mm
7	2. Boyuna eleman	234,3 mm	7,5 mm



Şekil 3.20 Strain-gauge rozetlerinin yerlerinin şematik gösterimi.

3.1.3. Kablo Bağlantıları

Strain-Gauge rozetlerinin dijital ölçme aletine bağlantısı için kullanılacak kabloların boylarının aynı olmasına ve düşük dirence sahip olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Sistemde her bir rozet için 2 tane 2 şer metrelik kablo kullanılmıştır.

Lehimin direnci az olmasından ötürü yumuşak lehim kullanılmıştır. Bağlantılar esnasında lehim işlemi yapılırken önce lehim yapılacak malzeme havya yardımı ile ısıtılıp üzerine lehim tatbik edilmiştir. Öncelikle kablo uçları ikişer santim açıldıktan sonra bir santimlik kısmı lehimlenmiştir.

Strain-Gauge rozetlerinin ölçme aleti ile bağlantısını kurmak için terminaller hazırlanarak profil üzerine yapıştırılmıştır. Şekil 3.21 de gösterilen terminaller Strain-Gauge rozetleri üzerindeki telleri, ölçme aleti ile birleştirmek üzere kullanılacak kablolarla bağlanması için kullanılacaktır. Terminaller için elektronik devre yapımında kullanılan plakalar kullanılmıştır. Yumuşak lehim kullanarak plaka üzerinde iki sıra halinde bant oluşturulmuştur. Bu bantlardan birinin ucuna Strain-Gauge rozetinden gelen tel, diğer ucuna ise bağlantı kablosu gelecektir. Terminalleri profillere yapıştırmak üzere her iki tarafı yapışabilme özelliğine sahip şerit parçaları kullanılmıştır. Lehimlerin soğuk lehim olup olmadığı ampermetre ile kontrol edilmiştir. Kabloların sarkarak ağırlıklarıyla strain gaugeleri etkilememesi için profillere bant yardımı ile bağlanmıştır.



Şekil 3.21 Bir numaralı rozet ve bağlantı terminali.

3.1.4. Sınır Şartlarının Oluşturulması

İstenilen sınır şartları enine elemanlar için basit mesnet, boyuna elemanlar için ankastre mesnet olmasıdır. Bu şartları sağlamak için enine elemanlar çerçeveye bir noktadan temas etmeli ve bu profilin sadece düşey hareketini engellemelidir. Boyuna elemanların sınır koşullarında uçların çerçeveye dönme ve çökmeyi sıfır yapacak şekilde bağlamak gerekecektir.



Şekil 3.22 Deney setinin üstten görünüşü.

Enine ve boyuna elemanlar için kullanılan profillerin boyları sınır koşullarını sağlamak için her iki uçtan 2.5 cm fazlıklara sahiptir. Çerçeve için ilk önce 30 x 30 köşebent kullanılmıştır. Boyuna elemanların 940 mm olan kısmı ve enine elemanlarında 705 mm olan kısmı çerçeve içinde kalmalıdır. Fazlalık olan 25 mm'lik kısımlar çerçeve elemanları ile temas edecektir. 30 x 30 mm'lik köşebentler kullanıldığı için 990 mm ($940+25+25$) ve 755 mm ($705+25+25$) uzunluğuna sahip ikişer tane köşebent yeterli olacaktır. Kaynak yapılacak olan köşebentlerin alt yüzeylerinin aynı düzlemde olmasına ve yapılacak olan çerçevenin eksenden kaçık

olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.22 de deney setinin üstten görünüşü görülmektedir.

Şekil 3.23 de gösterilen resimde enine elemanın uç noktası gözükmektedir. Görüldüğü üzere yaklaşık 25 mm de fazlalık vardır. Bu fazlalık profilin eğilmesine engel olmamaktadır amacı sadece profilin çerçeveye temasını sağlamaktır.



Şekil 3.23 Enine elemanların bağlantıları.

Boyuna elemanda ise bu fazlalık ankastreliği sağlamak için kullanılacaktır. Şekil 3.24 den görüldüğü üzere çerçeve üzerine kaynatılan köşebende 2 noktadan vidalanarak sistemin ankastreliğini sağlamaya çalışılmıştır. Ankastreliği mengeneler yardımı tam olarak sağlanamayacağı düşünüülerek ikişer noktadan çerçeveye bağlı olan köşebentlere vidalanarak dönme ve çökme sıfırlanmaya çalışılmıştır.



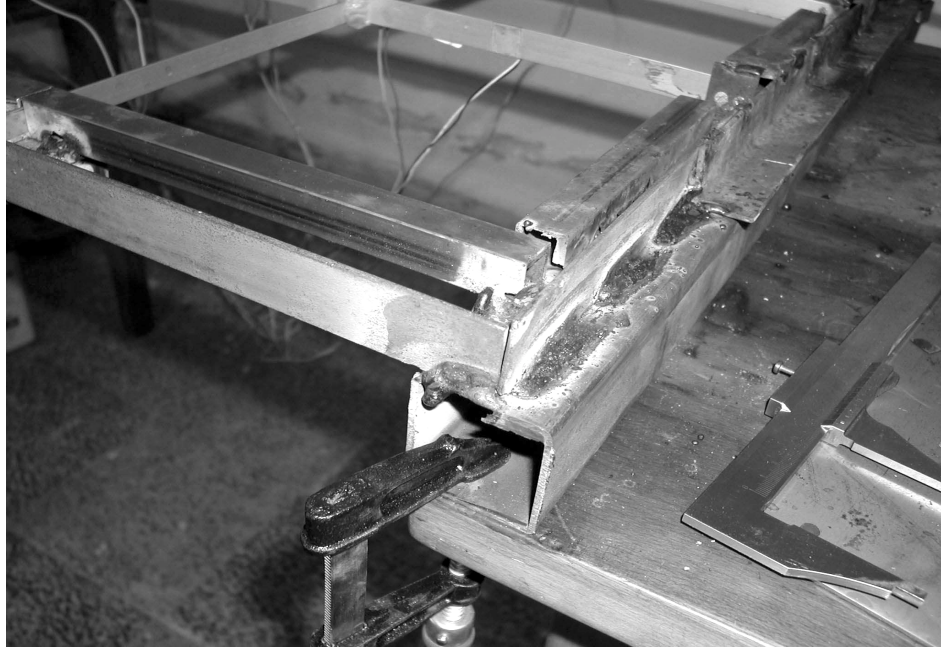
Şekil 3.24 boyuna elemanların bağlantısı.

Yükleme durumunda olması gereken sistemin boyuna elemanlarının uç kısımlarında dönmenin olmamasıydı. Deneyin ilk verilerine bakıldığında sonuçların aranılan sonuçlardan oldukça uzak olduğu gözlenmiştir. Sorun olarak çerçeveye kaynatılan köşebendin yeteri kadar ankastreliği sağlamadığı düşünülmüş ve çözüm olarak da köşebendin üst kısmı ile çerçeve arasına lama kaynatılarak köşebent parçasının dönmesi engellenmiştir.



Şekil 3.25 Boyuna elemanların mesnet kontrolü.

Deneyin tekrarlandığı zaman olması gereken sonuçlardan yine çok uzak olduğu görülmüştür. Sisteme yük konulduğu zaman çerçeve gözlemlendiğinde dönmenin olduğu fark edilmiştir. Sisteme yük etki etmesi sonucunda oluşan moment çerçevenin burulmasını sağlamaktadır. İlk düşünülen çerçeveyi mengeneler ile sabitlemek olmuştur. Çerçevede kullanılan malzemenin yumuşak olmasından ötürü bu seferde lokal olarak burulmalar gerçekleşmektedir. Çerçevelerin boyuna atalet momenti bir sıra daha 30 x 30 köşebent ile artırılmış olması da çözüm olmamıştır. Şekil 3.25 de gösterilen kompratör ile yapılan ölçümlerde yükleme anında nihayetlerde şekil değiştirme değerleri gözükmemektedir.



Şekil 3.26 Bağlantıların güçlendirilmesi.

Meydana gelen sorunun asıl kaynağı homojen olarak üretilmeyen ve yeterli mukavemet değerine sahip olmayan köşebentlerdir. En son çare olarak şekil 3.26 da gösterilen 50 x 50 kare profiller ile desteklenmiş çerçeve mengeneler ile sabitlenerek uç noktadaki dönmeler ihmal edilecek düzeye indirilmiştir. Şekil 3.27 de deney setinin son şekli gözükmemektedir.



Şekil 3.27 Deney setinin görünüşü.

3.1.5 Deneyin Yapılması

Malzemenin genleşmesinden ötürü sağlıklı sonuç elde etmemek için deneyler sabah serinliğinde yapılmıştır. Her bir yükleme durumu için deney, üç farklı günde tekrar edilerek ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.28 Deney seti ve ölçme aleti.

Strain-gauge rozetinde meydana gelen şekil değiştirme oranını ölçmemizi sağlayan şekil 3.28 de gösterilen ölçme aletinin sağlıklı sonuç verebilmesi için en az bir saat önceden açılması gerekmektedir. Ölçme aletinin yeteri kadar ısınmasını sağlamak için alet gecedan açık bırakılmıştır.

Dijital ölçme aletine 10 adet strain gauge rozeti bağlanabilmektedir. Strain gauge rozetlerinin ölçme aletine bağlanmasından sonra birtakım ayarların yapılması gerekmektedir.

Kullanılan strain gauge rozetlerinin gauge faktörüne bağlı olarak ölçme aleti üzerinde değişiklik yapılmalıdır. Şekil 3.29 ile gösterilen ölçme aleti üzerinde bulunan tablo yardımıyla, kurulan köprü devresine bağlı olarak strain gauge sabitine karşılık gelen değer bulunur. Kullanılan strain-gauge rozetlerinin strain-gauge sabiti 2.11 olduğuna göre tablodan 948 değeri okunur. Dijital göstergenin yanında yer alan

“Span Fine” yazılı yerin altında bulunan ayar düğmesinin yardımıyla sayacın değeri 948’e getirilerek sabitlenir.



Şekil 3.29 Ölçme aletinde kullanılan tablo.



Şekil 3.30 Rozetler için kullanılan ayar düğmeleri.

Şekil 3.31 da gösterilen panoda bulunan büyük ayar düğmesinin istenilen strain gauge rozetinin kanalına çevrilmesiyle dijital göstergeden ilgili strain gauge rozetinin şekil değiştirme oranı okunabilir. Yükleme yapmadan önce dijital göstergede değerler bulunmaktadır, bu değerlerin sıfırlanması şekil 3.31 da gösterilen

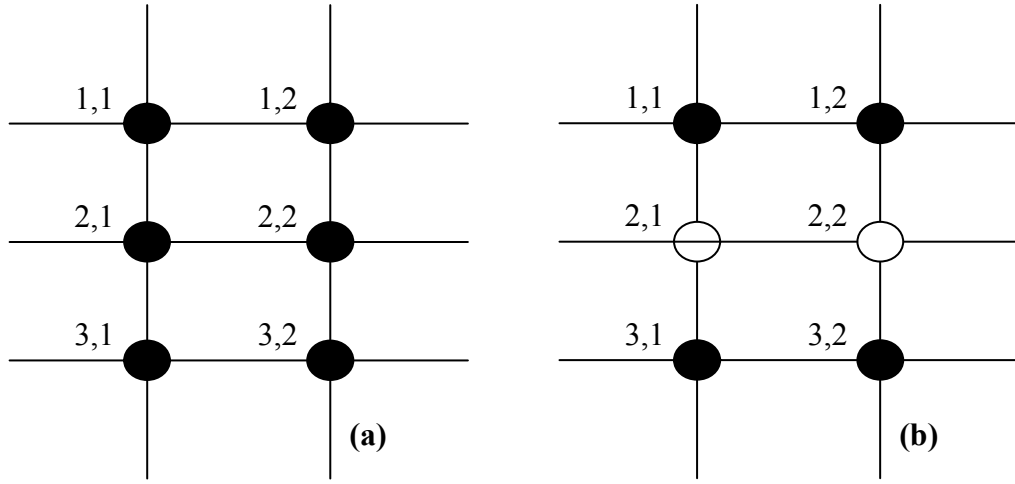
“balance” yazılı ayar düğmeleri ile yapılacaktır. Makinenin tam olarak ısınmaması durumunda sıfırlama işlemi yapılmasına rağmen bir süre sonra göstergede sıfırdan farklı değerler oluşabilir.



Şekil 3.31 “Balance” ayar düğmeleri.

Yüklemeler neticesinde meydana gelen şekil değiştirmeler elastik bölge içinde oluşmaktadır. Sistem üzerine yükleme yapılarak her bir strain gauge rozetinde meydana gelen şekil değiştirme oranı okunur. Yükleme kalktıktan sonra dijital gösterge üzerinde sıfırdan farklı bir değer okunuyorsa şekil değiştirme ya elastik bölge dışına çıkmıştır yada strain gauge rozeti tam olarak yapıştırılamamıştır.

Izgara sistemi üzerinde altı adet kesişim noktası bulunmaktadır. Yapılan deneylerde sistem üzerine düzgün yayılı yük uygulanamamıştır. Kesişim noktaları üzerine ağırlık konması suretiyle deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde yüklemelerin simetrik olması esastır. İki tür yükleme yapılmıştır. Birinci tür yüklemede şekil 3.32.a. da gösterildiği üzere tüm kesişim noktaları üzerine eş büyüklükte ağırlıklar konulmuştur. İkinci tür yüklemede kesişim noktalarından (1,1), (2,1), (3,1) ve (3,2) üzerine eş büyüklükte ağırlıklar konulmuştur. İkinci tür yükleme şekil 3.32.b. de gösterilmektedir. Deneylerde 50gr, 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr ağırlıklarında yükler kullanılmıştır.



Şekil 3.32 Yükleme türleri

Deneyler iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada boyuna elemanların ankastre mesnet olduğu durumda, ikinci aşamada boyuna elemanlar basit mesnet olduğu durumda deneyler yapılmıştır. Birinci aşama için Tablo xx de verilen yükleme durumlarına göre deneyler tamamlandıktan sonra ikinci aşamaya geçilmiştir. Deneyin ikinci aşamasında ızgara sistemi çerçeveden ayrılmıştır ve boyuna elemanların sınır şartını sağlaması için sistem, profillerin uç kısımlarına temas edecek şekilde metal parçaların üzerine yerleştirilmiştir. Tablo 3.2 de gösterilen yükle durumlarına göre ölçümler yapılmıştır.

Tablo 3.2 Boyuna elemanlar ankastre mesnet olduğu durumda yapılan deneyler

Yükleme No	Kuvvet (N)	Uygulanan Noktalar	Boyuna Elemanların Sınır Şartı	Enine Elemanların Sınır Şartı
1	0,981	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
2	0,981	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
3	1,4715	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
4	1,4715	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
5	1,962	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
6	1,962	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
7	2,4525	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
8	2,4525	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.

Tablo 3.3 Boyuna elemanlar basit mesnet olduğu durumda yapılan deneyler

Yükleme No	Kuvvet (N)	Uygulanan Noktalar	Boyuna Elemanların Sınır Şartı	Enine Elemanların Sınır Şartı
9	0,4905	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Basit M.	Basit M.
10	0,4905	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Basit M.	Basit M.
11	0,981	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Basit M..	Basit M.
12	0,981	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Basit M.	Basit M.
13	1,4715	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Basit M..	Basit M.
14	1,4715	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Basit M..	Basit M.
15	1,962	(1,1) (1,2) (2,1) (2,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.
16	1,962	(1,1) (1,2) (3,1) (3,2)	Ankastre M.	Basit M.

Kullanılan yedi adet strain-gauge rozetinden sadece üç tanesi düzgün sonuç vermiştir. Strain-gauge rozetleri şekil değiştirme oranının ölçülmesini sağlamaktadır. Deney setinde yükleme yapmadan önce tüm strain-gauge rozetleri için ölçme aletinde gösterge sıfırı gösterecek şekilde ayarlanmıştır. Deney setine yükleme yapılması ile ölçme aletinin göstergesinde her bir strain-gauge rozeti için değerler okunmuştur. Yüklerin kaldırılması ile göstergedeki değerleri sıfırı göstermesi gerekmektedir. Sağlıklı sonuç vermediği düşünülen strain-gauge rozetlerinde yüklemenin kalkması durumunda gösterge sıfır değerini göstermemektedir. Bu dört adet strain-gauge rozetinden elde edilen sonuçlar kullanılmamıştır. Rozetlerin sağlıklı sonuç vermeme sebebinin onlarca ihtimali vardır. Bu ihtimallerden üç tanesi üzerinde durulması gerekmektedir, strain-gauge rozeti bozuk olabilir, şekil değiştirme elastik bölgenin dışına çıkmıştır, strain-gauge rozeti tam olarak yapıştırılamamış dolayısıyla strain-gauge rozeti malzeme üzerinde kaymaktadır. Sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre elastik bölgenin dışına çıkmadığına göre geriye strain-gauge rozetlerinin hatalı olduğu veya strain-gauge rozetlerinin düzgün yapıştırılmadığı ihtimalleri kalmaktadır. Kullanılan strain-gauge rozetlerinin bozuk olma ihtimali oldukça yüksektir. Diğer ihtimalde dört adet strain-gauge rozetinin düzgün yapıştırılması ise tavsiye edilen malzemelerin

kullanılmaması ve yüzey temizliğinin de katkılı aseton kullanılması sebebiyle olabilir.

Tablolarda gösterilen deneyler neticesinde ölçme aletinden kontrol noktaları için okunan sonuçlar tablo 3.4 de verilmiştir.

Deneylerde ortamın sistem üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için deneyler farklı gün ve saatlerde tekrarlanmıştır. Farklı günlerdeki ölçümlerde 13 çıkan bir değer, bir başka ölçümde 14 veya 13 ile 14 arasında gidip gelmesi durumunda değer 13,5 olarak alınmıştır. Tablo 3.4 yardımıyla kontrol noktalarında meydana gelen moment değerleri, y strain-gauge rozetinin tarafsız eksen den olan uzaklığı, ϵ_D tablo 3.4 de gösterilen şekil değiştirme oranları olmak üzere denklem 3.1 yardımı ile hesaplanır.

$$\sigma = \epsilon E$$

$$\sigma = M y / I$$

$$M = \epsilon_D E I 10^{-6} / y \quad (3.1)$$

Tablo 3.4 Ölçme aletinden okunan değerler.

Yüklem No	KN 1	KN 3	KN 5
1	4	7	9
2	7	10	13
3	9	14	17
4	10,5	18	21
5	5	7,5	8
6	8	12	14
7	13,5	19	21
8	20,5	26	29
9	2	3,5	4
10	3,5	5	7
11	4,5	6,5	9
12	5	8,5	12
13	2,5	5	5
14	6	8	8
15	9,5	11	12
16	12	13,5	15

4. SAYISAL ÇALIŞMA

Çökme yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemi ile ızgara sistem analizi yapılarak deneyin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Deneyde yapılan yüklemelere ek olarak 0,2 N/mm büyüklüğünde düzgün yayılı yük içinde hesaplama yapılmıştır.

Hesaplanan sistemin verileri aşağıda verilmiştir.

Elastisite modülü : 70000 N/mm^2

Boyuna elemanların atalet momenti : 1333.33 mm^4

Enine elemanların atalet momenti : 562.5 mm^4

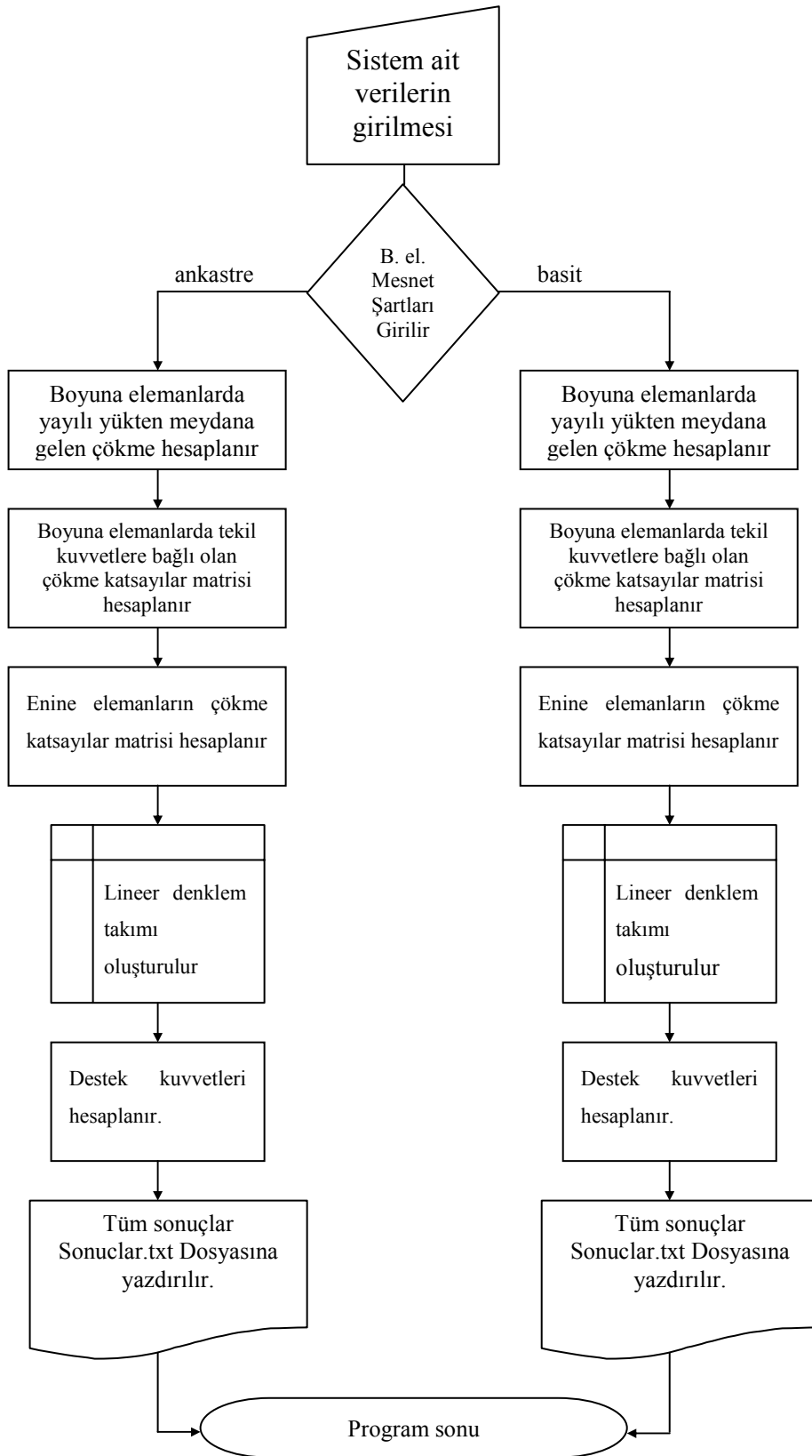
Boyuna elemanların yüksekliği : 20 mm

Enine elemanların yüksekliği : 15 mm

4.1. Çökme Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar

EK A da verilen bilgisayar program FORTRAN programlama dili kullanılarak yazılmıştır. Program çıktısı olarak kesişim noktalarında meydana gelen destek kuvvetlerini, kesişim noktalarında meydana gelen çökme değerlerini ve elemanların üzerindeki moment ve gerilme değerlerini vermektedir.

Yazılan programın akış diyagramı şekil 4.1 de verilmektedir. Akış diyagramında görüldüğü üzere boyuna elemanların ankastre veya basit mesnet olmasına göre hesap yapılmaktadır. Program çıktılarından elde edilen moment dağılımlarını gösteren grafikler ek B de verilmiştir.



Şekil 4.1 Akış diyagramı

4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Sonuçlar

ANSYS® programının öğrenci versiyonu kullanarak yapılan çözümde eleman giriş olarak modellenmiştir. Kullanılan eleman türü olarak Beam44 seçilmiştir. Gerilme, basınç, burulma ve eğilme özelliklerine sahip olan Beam44 elemanı her bir düğüm noktası üzerinde 6 serbestlik derecesine sahiptir. Sonuçların yakınsamasını kontrol etmek amacıyla eleman sayısı iki katına çıkartılmış ve aynı sonuçlar elde edilmiştir.

ANSYS® de modellemeyi yapmak için kullanan komut listelerin bulunduğu dosya Ek C de verilmiştir.

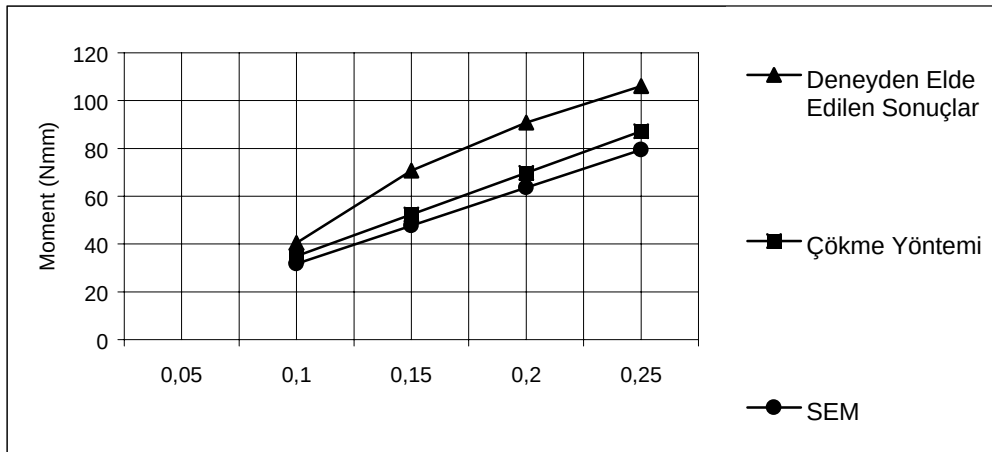
Moment dağılımlarını gösteren ANSYS® çıktıları ek D de verilmiştir.

5. KARŞILAŞTIRMALAR

Bu bölümde deney, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Deneyde kullanılan strain-gauge rozetlerinden sadece üç tanesi düzgün çalışmıştır. Karşılaştırma yapmak üzere bir numaralı strain-gauge rozetinin yapıştırıldığı nokta, üç numaralı strain gauge rozetinin yapıştırıldığı nokta, beş numaralı strain-gauge rozetinin yapıştırıldığı noktadan elde edilen değerler karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Kontrol noktalarındaki moment değerleri tablo 3.4 den elde edilir.

Şekil 5.1 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla birinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

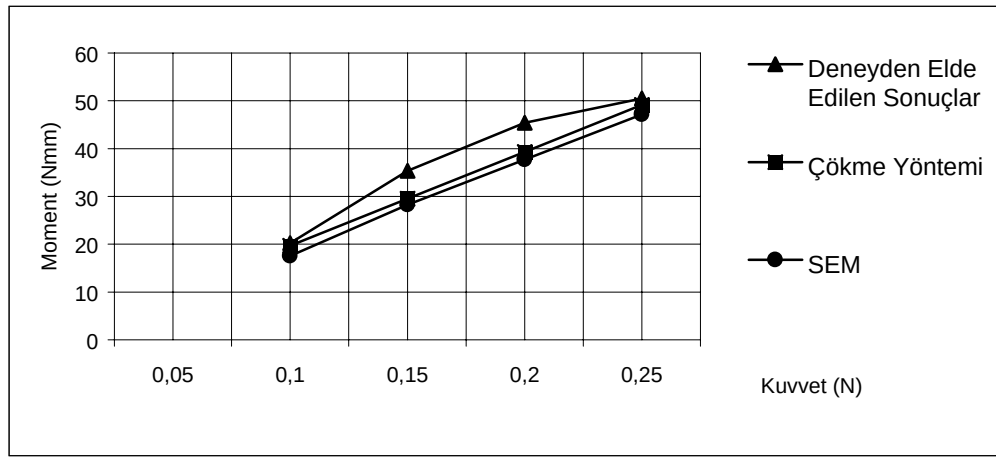
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.1 Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.2 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla birinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

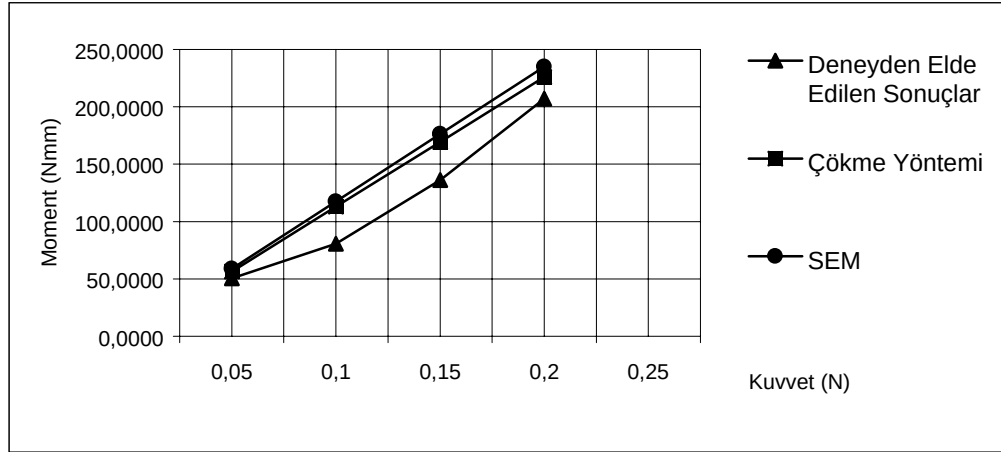
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.2 Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.3 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların asılmasıyla birinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

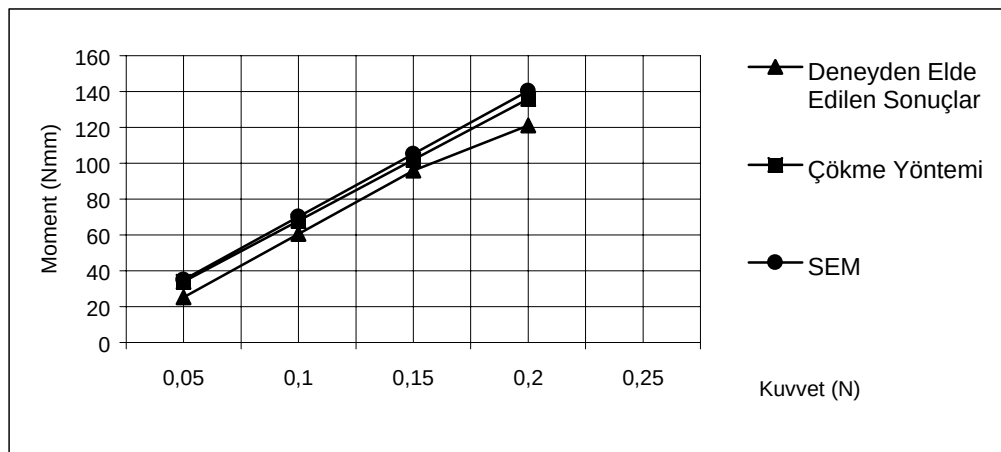
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.3 Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.4 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların asılmasıyla birinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

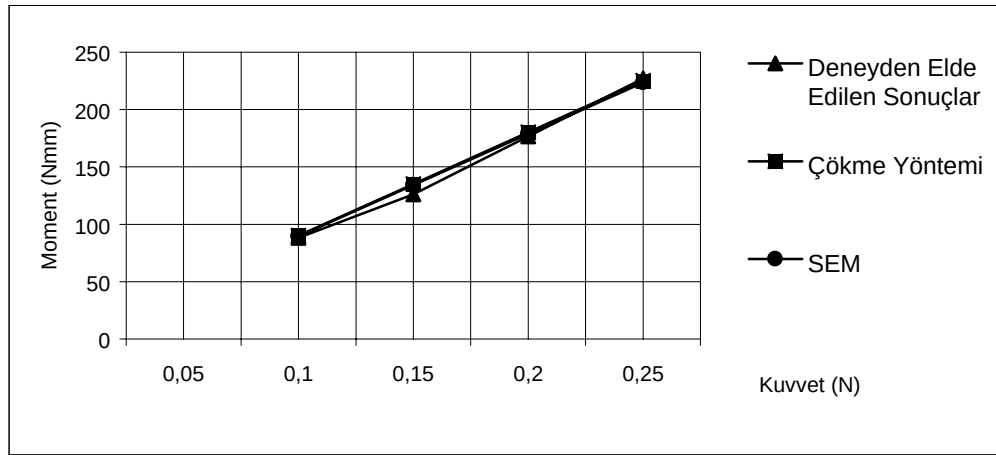
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.4 Birinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.5 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla ikinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

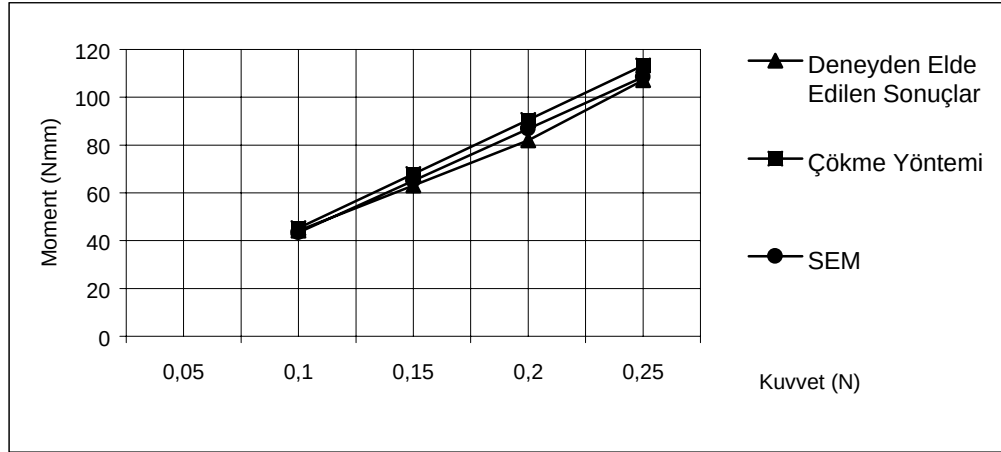
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.5 Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.6 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla ikinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

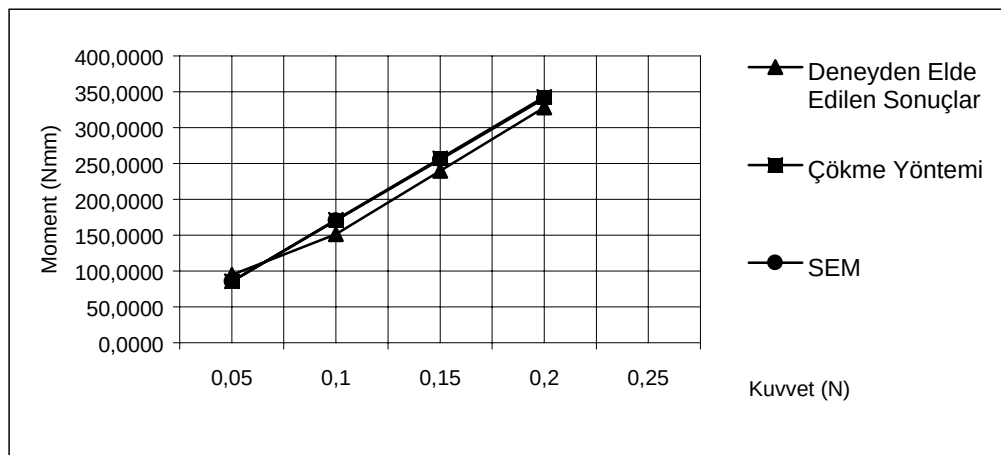
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.6 Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.7 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların asılmasıyla ikinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

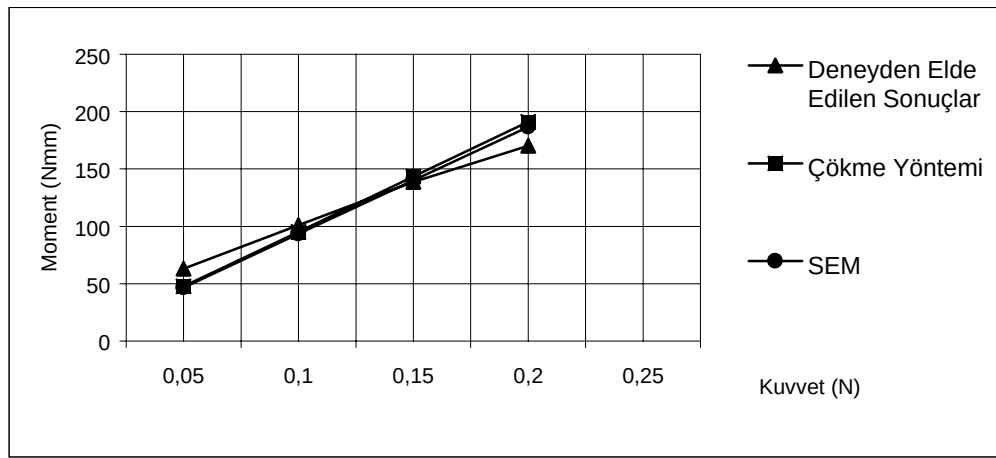
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.7 Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.8 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların asılmasıyla ikinci kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

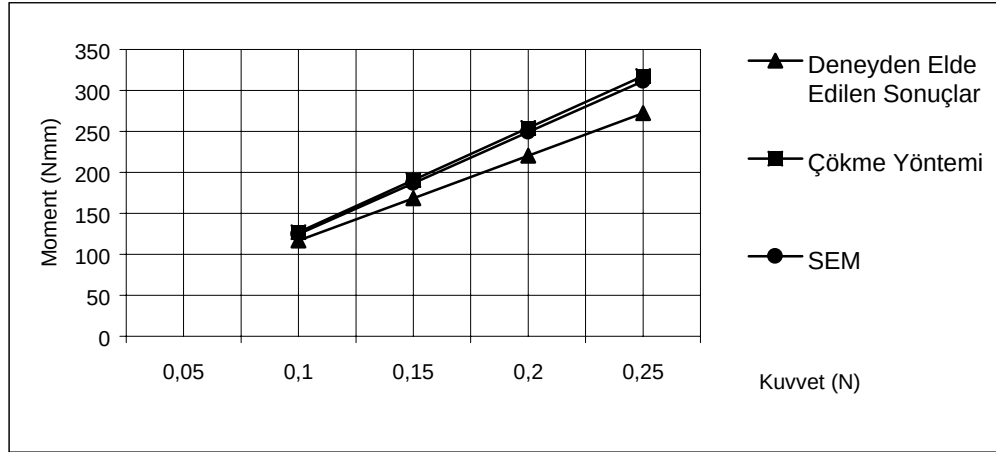
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.8 Üçüncü kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.9 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla üçüncü kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

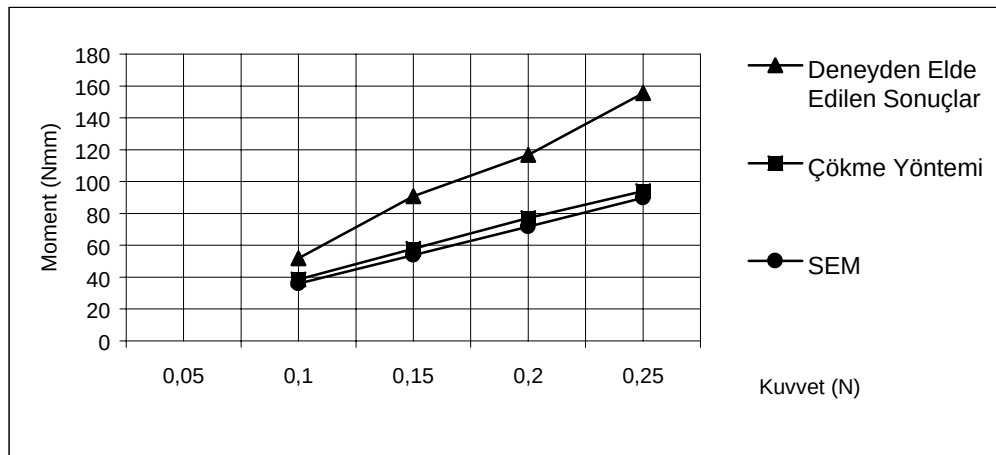
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.9 Beşinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.10 de verilen grafik boyuna elemanların ankastre mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 100gr, 150gr, 200gr ve 250gr'lık ağırlıkların asılmasıyla üçüncü kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.

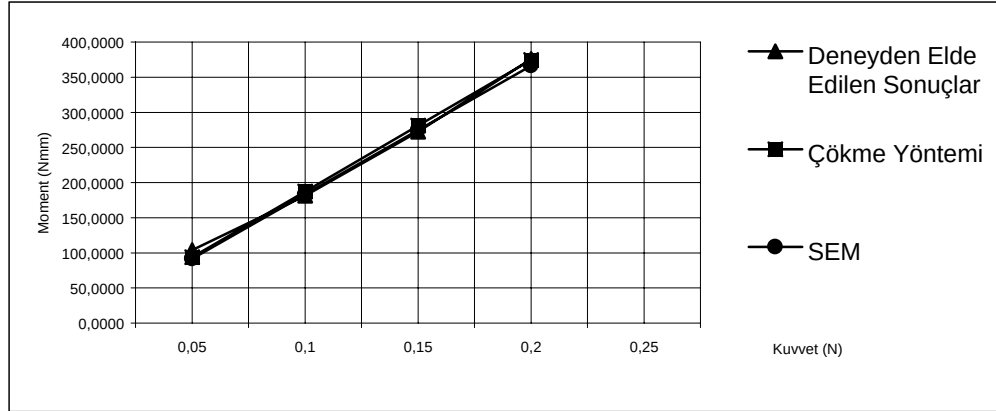


Şekil 5.10 Beşinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.11 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda tüm kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların

asılmasıyla üçüncü kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

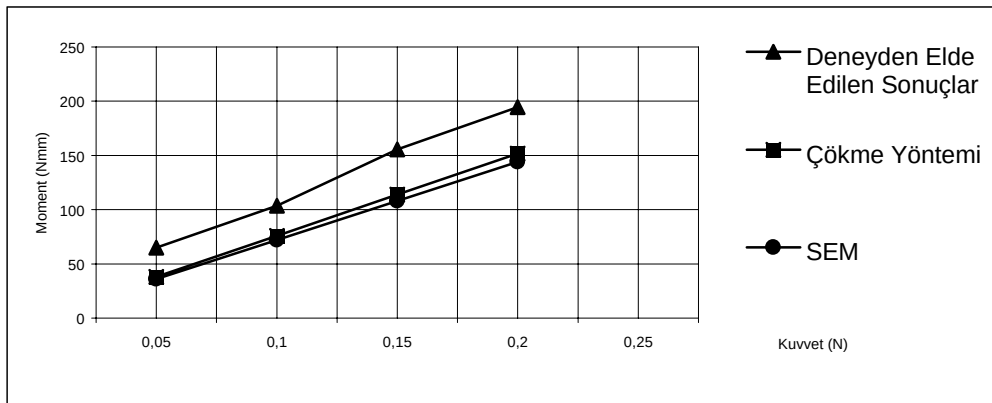
Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 9% büyük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedir. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.11 Beşinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Şekil 5.12 de verilen grafik boyuna elemanların basit mesnet olarak mesnetlendiği durumda (1,1), (1,2), (3,1) ve (3,2) kesişim noktaları üzerine 50gr, 100gr, 150gr ve 200gr'lık ağırlıkların asılmasıyla üçüncü kontrol noktasında deneyden, çökme yöntemi ve sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Görüldüğü üzere çökme yönteminden elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlardan yaklaşık 12% küçük çıkmaktadır ve ikisi de lineer olarak değişmektedirler. Deneyden elde edilen sonuçlar ise lineer bir değişim göstermemektedir.



Şekil 5.12 Beşinci kontrol noktasından elde edilen sonuçlar.

Sistemde meydana gelen maksimum çökme değerleri tablo 5.1 ile verilmiştir. Verilen tabloda yer alan “yükleme no” kısmı tablo 3.2 deki bilgilere göre düzenlenmiştir. Buna göre yükleme no 1 ile yükleme no 11 tablo 3.2 yardımıyla karşılaştırılırsa aynı büyüklükteki kuvvetlerin aynı kesişim noktaları üzerine uygulandığını, yapılan deneyde sadece sistemin mesnet şartlarının farklı olduğu görülecektir. Böylelikle boyuna elemanların ankastre mesnet veya basit mesnet olduğu durumlardaki maksimum çökme değerleri okunabilecektir.

Tablo 5.1 Tam yükleme durumunda meydana gelen maksimum çökmeler.

Yükleme No	Boyuna Elemanlar Ankastre Mesnet	Yükleme No	Boyuna Elemanlar Basit Mesnet
1	0,07191926 mm	11	0,184709 mm
2	0,03558432 mm	12	0,1053001 mm
3	0,1078789 mm	13	0,2770635 mm
4	0,05337646 mm	14	0,1579502 mm
5	0,1438385 mm	15	0,3694179 mm
6	0,07116862 mm	16	0,2106002 mm

Sisteme düzgün yayılı kuvvet etkimesi durumunda sayısal yöntemlerden elde edilen veriler incelendiğinde aralarında %1 ila %5 fark olduğu ve çökme yönteminden elde edilen sonuçların daha büyük olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Izgara sistem analizi için deneysel ve sayısal olarak çalışılmıştır. Sayısal hesaplamalarda sonlu elemanlar yöntemi ve çökme yöntemi kullanılmıştır. Deneysel inceleme amacıyla alüminyum profillerden ızgara modeli oluşturulmuştur. Kurulan deney setinde yedi adet strain-gauge rozeti bağlanarak yerleştirildikleri noktalardaki şekil değiştirme oranlarını elde etmek amaçlanmıştır.

Sisteme yüklemelerin yapılmasıyla ölçme aletinden elde edilen sonuçlara göre dört adet strain-gauge rozetinin sağlıklı sonuç vermediği ortaya çıkmıştır. Sağlıklı sonuç verdiği düşünülen üç adet strain-gauge rozetinden elde edilen sonuçlar, çökme yöntemine göre hazırlanan bilgisayar programının sonuçları ve sonlu elemanlar programı olan ANSYS® den elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda hazırlanan bilgisayar programından elde edilen sonuçların ANSYS den elde edilen sonuçlar ile hemen hemen aynı olduğu, deneyden elde edilen sonuçların ise sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlardan % 10'a kadar çıkabilen bir fark ortaya çıkmıştır. Gemi dip yapısının analizinde yüksek maliyetli paket programlar yerine hazırlaması daha kolay olan çökme yöntemine dayalı bilgisayar programı ile aynı hassasiyette sonuç elde etmek mümkün olmuştur.

Sisteme yükleme yapılması durumunda strain-gauge rozetleri yapıştırıldığı noktadaki şekil değiştirme oranının 10^6 katı ölçme aleti üzerinde okunmaktadır. Şekil değiştirmenin az olması sağlanarak yapılan kabullerin dışına çıkılmaması amaçlanmıştır. Uygulanan kuvvetlerin yeteri büyüklükte olmaması nedeniyle deneyden elde edilen sonuçlar istenilen hassasiyette olmamıştır. Deneylerde ortamın sistem üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için deneyler farklı gün ve saatlerde tekrarlanmıştır. Farklı günlerdeki ölçümlerde 13 çıkan bir değer, bir başka ölçümde 14 veya 13 ile 14 arasında gidip gelmesi durumunda değer 13,5 olarak alınmıştır. Grafikler incelendiğinde yüklerin artırılması ile kontrol noktalarındaki deneyden elde edilen sonuçların moment grafiklerinin lineer olmaması bu sebeplerden meydana gelmektedir. Nokta sayısı az olduğu için datalardan en küçük kareler veya başka

metotlar kullanarak eğri geçirilmesi yoluna gidilmemiştir. Yapılacak olan çalışmalarda data sayısı mümkün olduğu kadar çok tutulmalıdır.

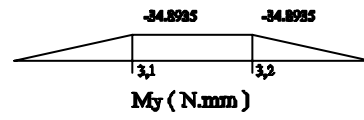
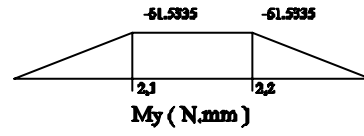
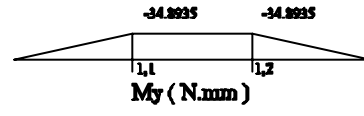
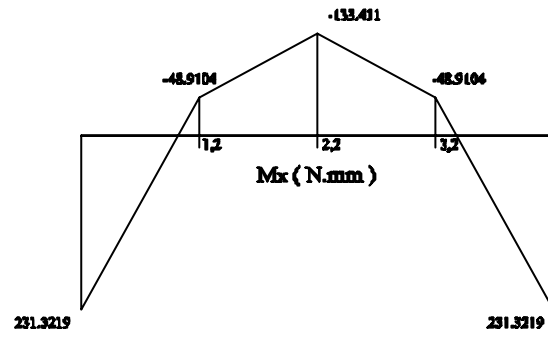
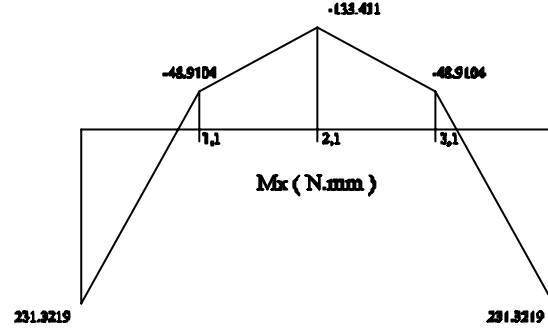
Strain-gauge rozetlerinin tarafsız eksenden olan uzaklığı derinlik kumpası ile ölçülmeye çalışılmıştır. Bu işlemin yeteri hassasiyette olduğu söylemez. Strain-gauge rozetlerinin tarafsız eksenden olan uzaklığının ölçülmesinde yapılacak hata, momentlerin hesaplanmasında aynı oranda hata oluşturacaktır. Yapıştırma işlemi öncesinde mesafelerin işaretlenerek hassas bir şekilde işaretler üzerine yapıştırma işlemi yapılmalıdır. Kullanılan strain-gauge rozetleri mümkün olduğu kadar küçük, sayısı fazla ve tarafsız eksenden uzağa yapıştırılması daha sağlıklı sonuç alınmasını sağlayacaktır. Yapıştırma işleminde tavsiye edilen malzemeler kurulum talimatlarına uygun olarak kullanılmalıdır. Yapıştırma işlemi el yatkınlığı gerektirmektedir. Maliyeti düşük strain-gauge rozetleri denenerek el yatkınlığı sağlanmalıdır. Yapılan çalışmalarda kısıtlı bir bütçe ile eldeki olanaklar el verdiğince değerlendirilerek yapılmıştır. Yapılan çalışmanın hassasiyetini arttırmak için aynı deney setinden altı yedi tane daha yapılarak üretimde meydana gelecek hatalar en aza indirilmelidir. Bu çalışmada yapılan deneysel çalışmada aktarılan tecrübeler ileride bu tür çalışma yapacaklara yardımcı kaynak olacak niteliktedir.

Bu çalışma daha ileride yapılacak olan çalışmalara ilk adım niteliğindedir. Bir sonraki aşama sistemi üç boyutlu hale getirip mesnet şarlarının rijitliğine bağlı olan etkisini de ekleyerek yapısal analiz yapmak olmalıdır. Bilindiği üzere gemi dip yapısı sadece dolu döşek ve boyuna elemanlardan oluşmamaktadır, dip sacları, iç dip sacları ve postalardan oluşmaktadır. Tüm bu elemanların birbirleri ile etkileşimleri hesaba katılarak model geliştirilmelidir. Yapılacak deneysel çalışmada kullanılacak malzeme seçimine dikkat edilmelidir. Izgara sistemini oluşturan enine ve boyuna elemanların sac ile kaplanması durumunda yapıştırma işlemi sorun olacaktır. Alüminyum profil seçilmesi durumunda, alüminyum sac kullanılmaz ise çelik macun ile yapıştırma işlemi gerekecek ve sistemin rijitliği macun sebebiyle modellenmesi zor bir hal alacaktır. Gemi dip ve iç dip saclarının farklı kalınlıklar kullanılarak deneysel olarak modellenmesiyle klaslama kuruluşlarının hesaplamalarında kullanılan, profillerin bağlı oldukları sacın mukavemetine etkisinin ne ölçüde katıldığı görülmüş olacaktır. Ayrıca deney setinin bilgisayarlı ölçme aletine bağlanmasıyla dinamik analiz yapmak mümkün olacaktır.

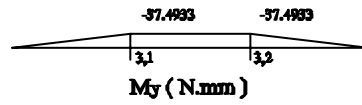
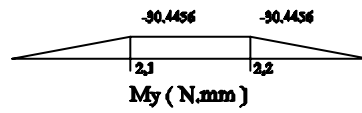
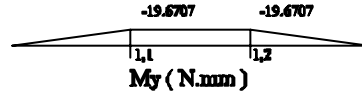
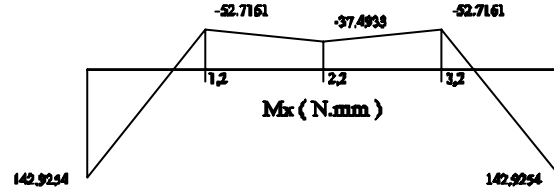
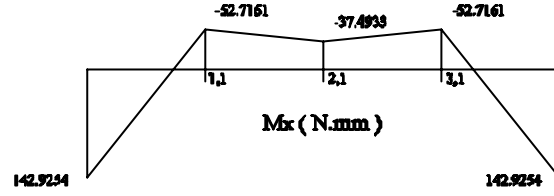
KAYNAKLAR

- [1] **Bayraktarkatal, E.**, 1988. Gemi dip yapısındaki gerilmelerin incelenmesi,
Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] **Sanad, A.M.**, 2000. Reference ABAQUS Model Using Grillage Representation
for Slab, *British Steel Fire Test Research Report*, The University of
Edinburg, UK
- [3] **Paik, J.K. and Kim, B.J.**, 2002, Ultimate strength formulations for stiffened
panels under combined axial load, in-plane bending and lateral pressure:
a benchmark study, *Thin Walled Structures*, **40**, 45-83
- [4] **Rahman, F. and Gearoge, K. P.**, 1980, "Thermal Stresses in Skew Bridge by
Model Test," *ASCE Journal of the Structural Division*, **104-1**, pp.39-58.
- [5] **Newmark, N. M., Peckham, W. M.**, 1948, "Studies of Slab and Beam Highway
Bridges- Part II: Tests of Simple-Span Skew I-Beam Bridges,"
University of Illinois Bulletin Engineering Experiment Station, No. 375.
- [6] **Miller, R. A., Aktan, A. E. and Shahrooz, B. M.**, 1992, "Destructive Testing of
a Decommissioned Slab Bridge," *ASCE Journal of Structural
Engineering*, **120-7**, pp. 2176-2198.
- [7] **Mukle, W.**, 1967. Strenght of ships' structures, Edward Arnold LTD, London
- [8] **Bayraktarkatal, E.**, 1995. Gemi yapı elemanlarının boyutlandırılması için
gerilme analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [9] **İnan, M.**, 1996. Cisimlerin Mukavemeti, İ.T.Ü. Vakfı Yayınları, İstanbul

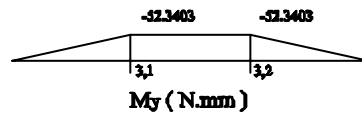
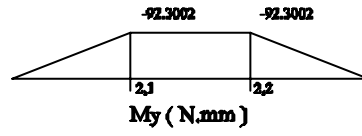
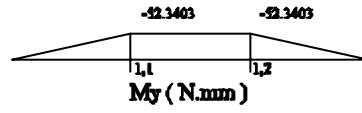
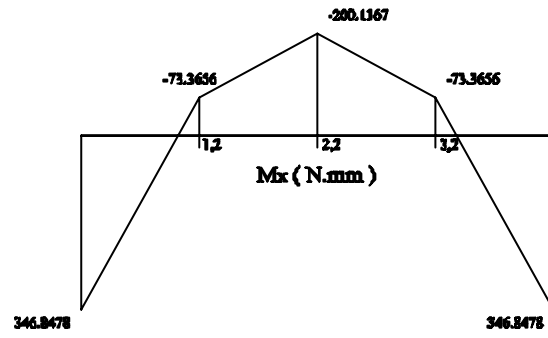
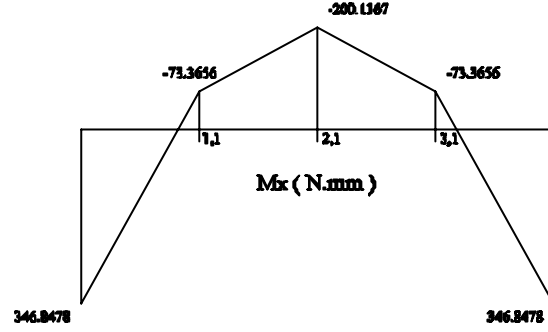
- [10] **Savcı, M.**, 1988. Gemi Kirişleri Mukavemeti, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul
- [11] **Ünsan, Y.**, 2001. Strain-Gage 1, *Yüksek Lisans Ders Notları*,
www.gidb.itu.edu.tr/staff/unsan/D/yleb/experimental/not, s. 1-7
- [12] **Measurements Group, INC.**, 1979. M-Line Accessories Instruction Bulletin B130-14, *Technical note*, USA



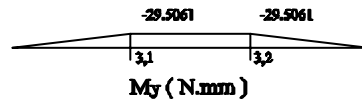
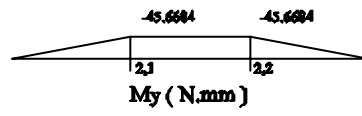
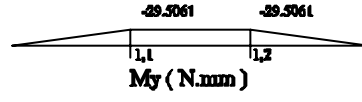
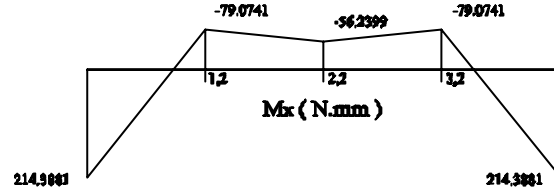
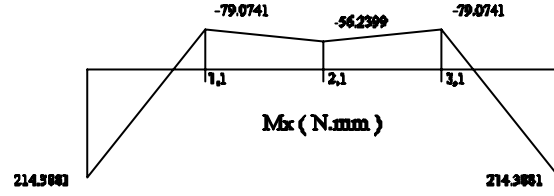
Şekil B.1 Yükleme 1'den elde edilen moment dağılımları



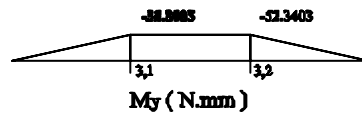
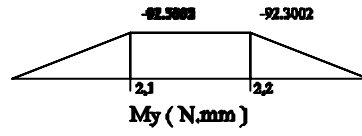
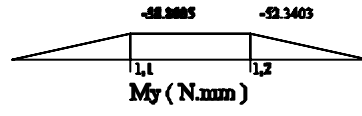
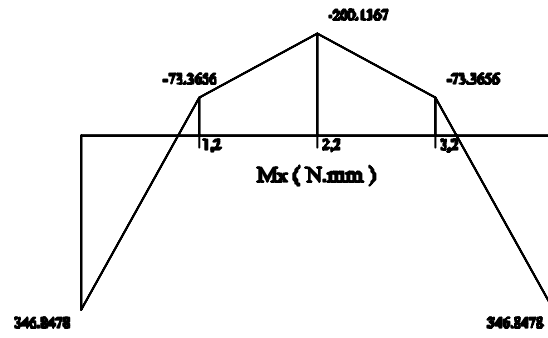
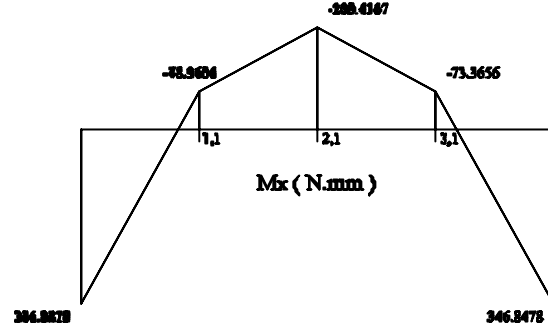
Şekil B.2 Yükleme 2'den elde edilen moment dağılımları



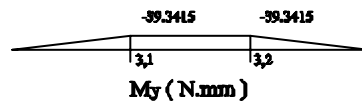
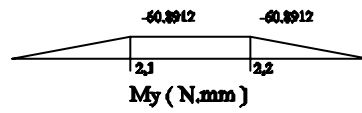
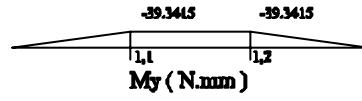
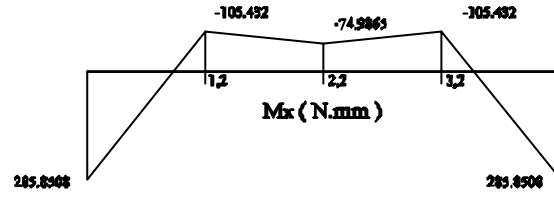
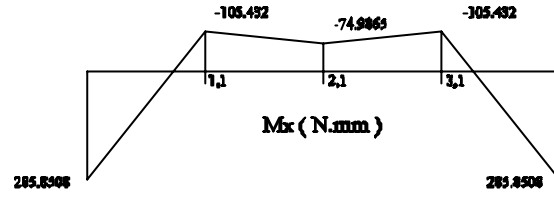
Şekil B.3 Yükleme 3'den elde edilen moment dağılımları



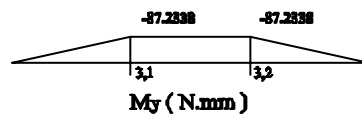
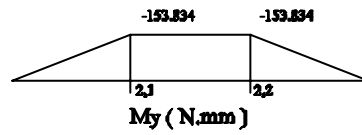
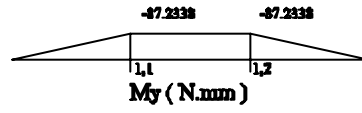
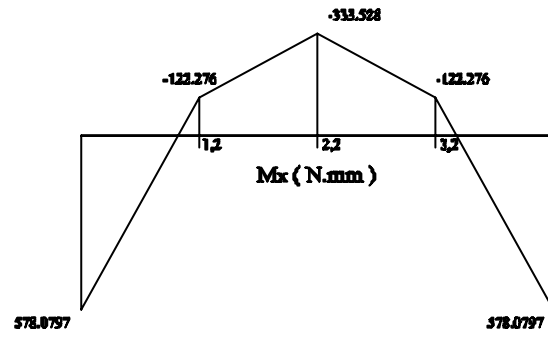
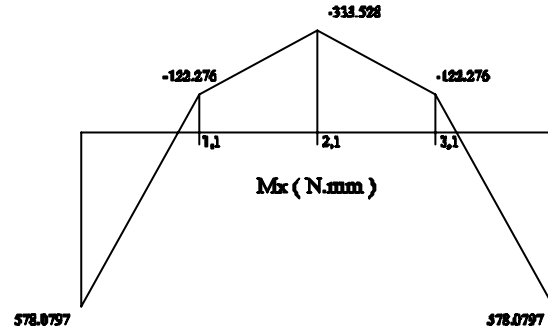
Şekil B.4 Yükleme 4'den elde edilen moment dağılımları



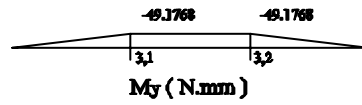
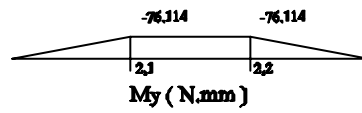
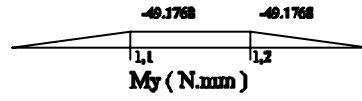
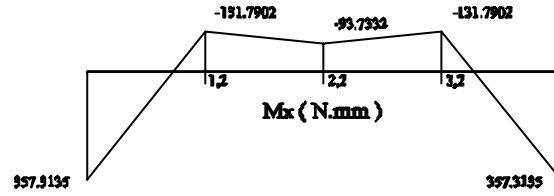
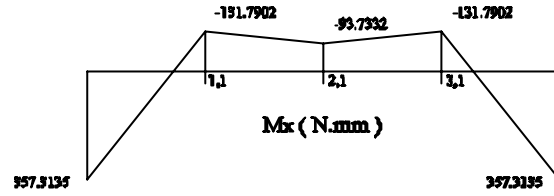
Şekil B.5 Yükleme S'den elde edilen moment dağılımları



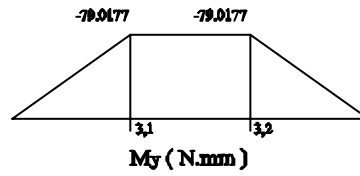
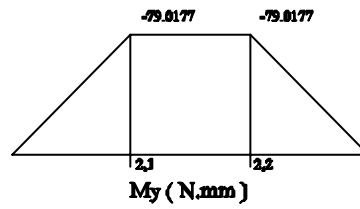
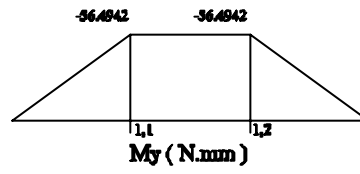
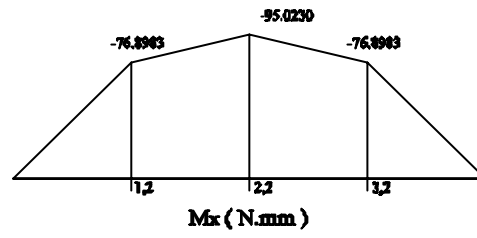
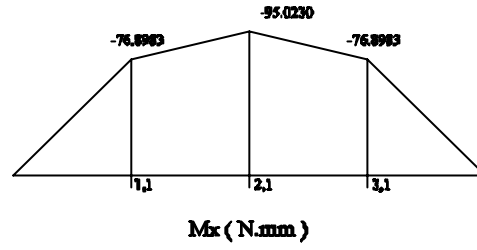
Şekil B.6 Yükleme 6'dan elde edilen moment dağılımları



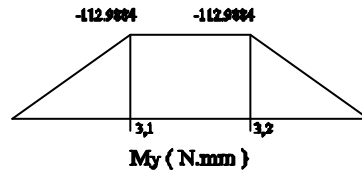
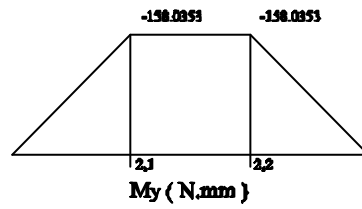
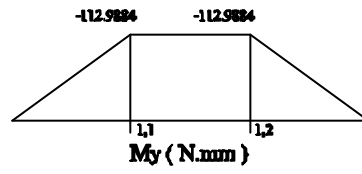
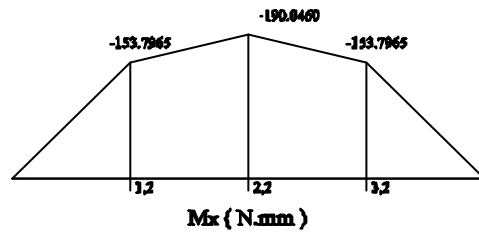
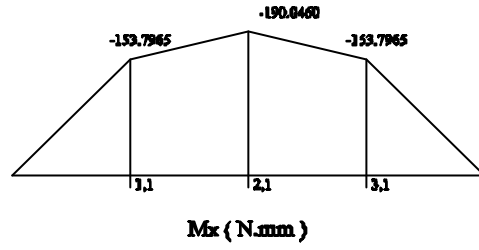
Şekil B.7 Yükleme 7'den elde edilen moment dağılımları



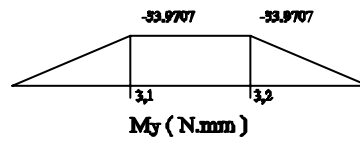
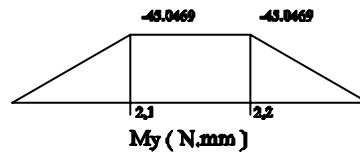
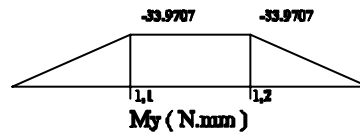
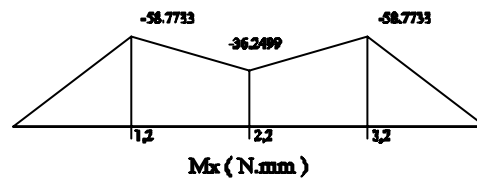
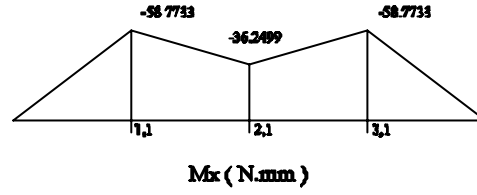
Şekil B.8 Yükleme 3'den elde edilen moment dağılımları



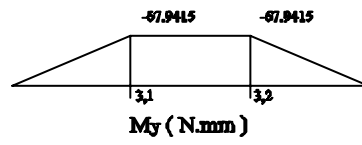
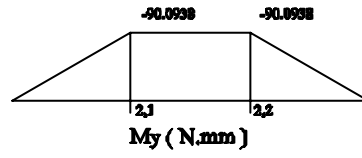
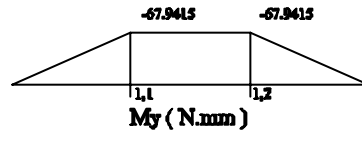
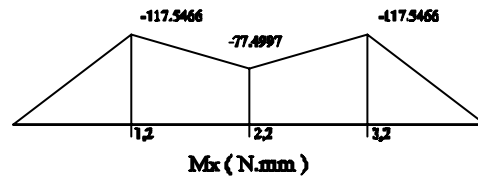
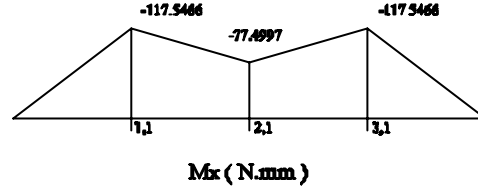
Şekil B.9 Yükleme 9'dan elde edilen moment dağılımları



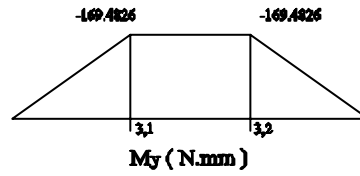
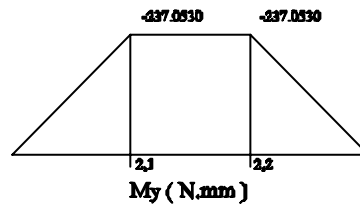
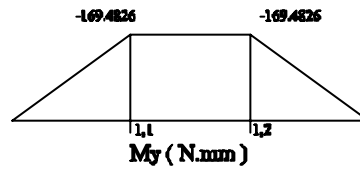
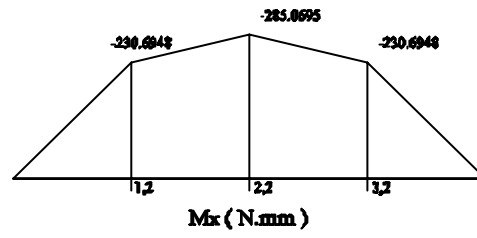
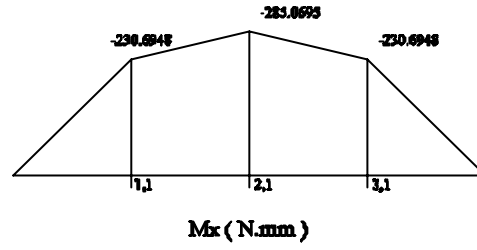
Şekil B.10 Yükleme 11'den elde edilen moment dağılımları



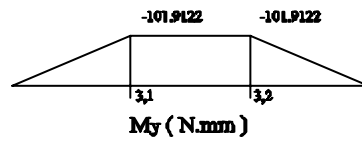
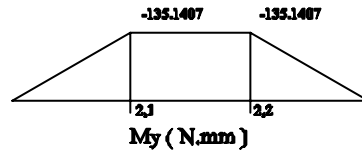
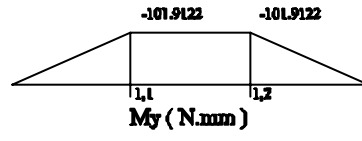
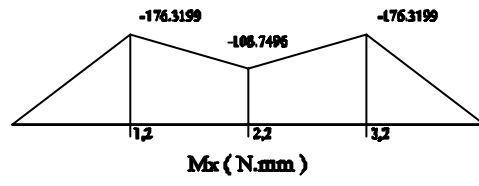
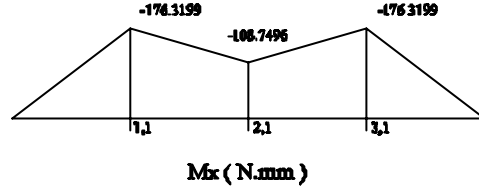
Şekil B.10 Yükleme 10'dan elde edilen moment dağılımları



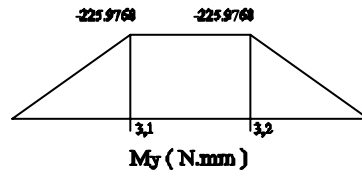
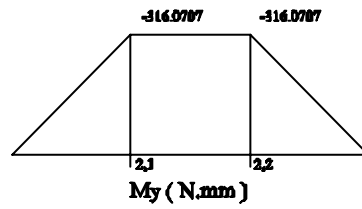
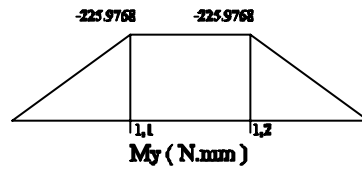
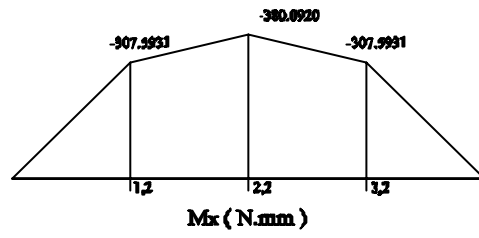
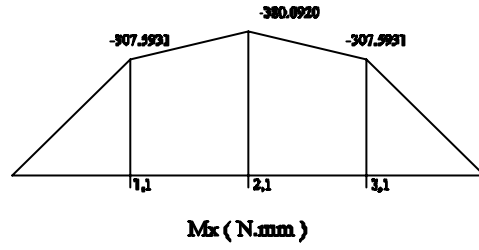
Şekil B.12 Yükleme 12'den elde edilen moment dağılımları



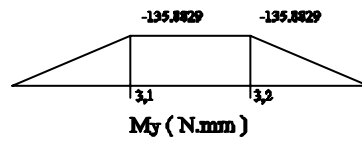
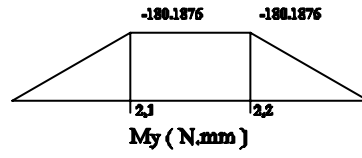
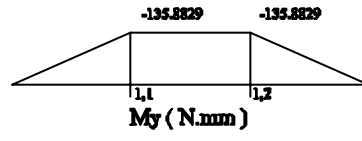
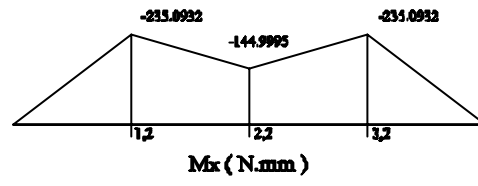
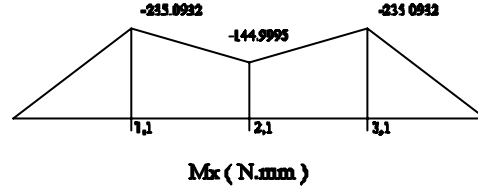
Şekil B.13 Yükleme 13'den elde edilen moment dağılımları



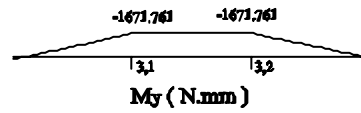
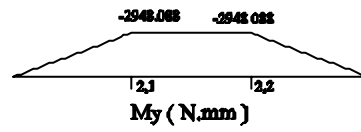
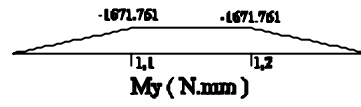
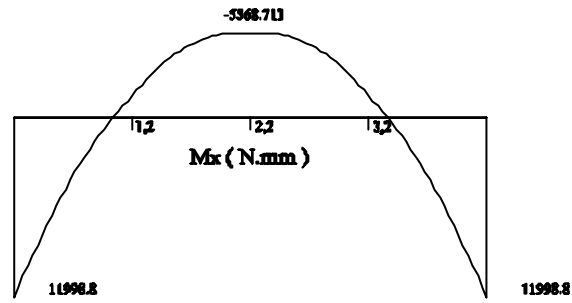
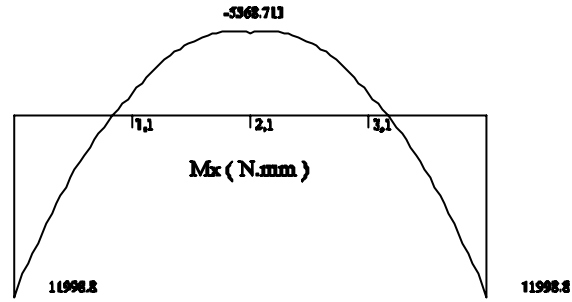
Şekil B.14 Yükleme 14'den elde edilen moment dağılımları



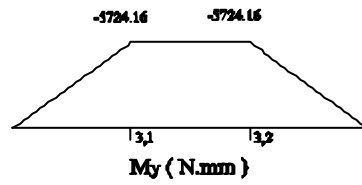
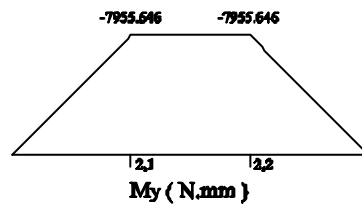
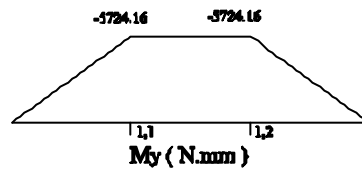
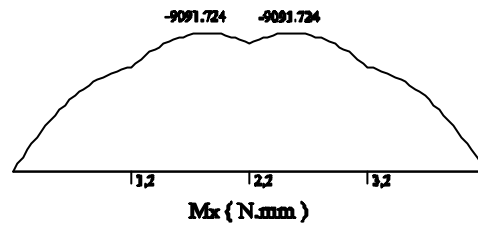
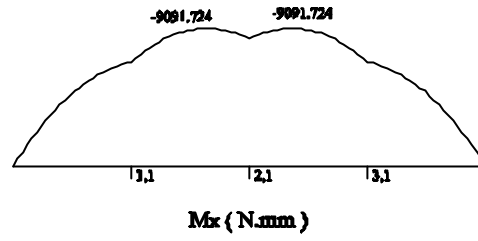
Şekil B.15 Yükleme 15'den elde edilen moment dağılımları



Şekil B.16 Yükleme 16'dan elde edilen moment dağılımları



Şekil B.17 Ankastre mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları



Şekil B.18 Basit mesnet ve düzgün yaylı yükleme durumunda moment dağılımları

EK C ANSYS LİSTELERİ

/TITLE,İZGARA

/prep7

N	,	1	,	0	,	470	,	0
N	,	2	,	23.5	,	470	,	0
N	,	3	,	47	,	470	,	0
N	,	4	,	70.5	,	470	,	0
N	,	5	,	94	,	470	,	0
N	,	6	,	117.5	,	470	,	0
N	,	7	,	141	,	470	,	0
N	,	8	,	164.5	,	470	,	0
N	,	9	,	188	,	470	,	0
N	,	10	,	211.5	,	470	,	0
N	,	11	,	235	,	470	,	0
N	,	12	,	258.5	,	470	,	0
N	,	13	,	282	,	470	,	0
N	,	14	,	305.5	,	470	,	0
N	,	15	,	329	,	470	,	0
N	,	16	,	355.9	,	470	,	0
N	,	17	,	356.1	,	470	,	0
N	,	18	,	399.5	,	470	,	0
N	,	19	,	423	,	470	,	0
N	,	20	,	446.5	,	470	,	0
N	,	21	,	470	,	470	,	0
N	,	22	,	493.5	,	470	,	0
N	,	23	,	517	,	470	,	0
N	,	24	,	540.5	,	470	,	0
N	,	25	,	564	,	470	,	0
N	,	26	,	587.5	,	470	,	0
N	,	27	,	611	,	470	,	0
N	,	28	,	634.5	,	470	,	0
N	,	29	,	658	,	470	,	0
N	,	30	,	681.5	,	470	,	0
N	,	31	,	705	,	470	,	0
N	,	32	,	728.5	,	470	,	0
N	,	33	,	752	,	470	,	0
N	,	34	,	775.5	,	470	,	0

N	,	35	,	799	,	470	,	0
N	,	36	,	822.5	,	470	,	0
N	,	37	,	846	,	470	,	0
N	,	38	,	869.5	,	470	,	0
N	,	39	,	893	,	470	,	0
N	,	40	,	916.5	,	470	,	0
N	,	41	,	940	,	470	,	0
N	,	42	,	0	,	235	,	0
N	,	43	,	23.5	,	235	,	0
N	,	44	,	47	,	235	,	0
N	,	45	,	70.5	,	235	,	0
N	,	46	,	94	,	235	,	0
N	,	47	,	117.5	,	235	,	0
N	,	48	,	141	,	235	,	0
N	,	49	,	164.5	,	235	,	0
N	,	50	,	188	,	235	,	0
N	,	51	,	211.5	,	235	,	0
N	,	52	,	235	,	235	,	0
N	,	53	,	258.5	,	235	,	0
N	,	54	,	282	,	235	,	0
N	,	55	,	305.5	,	235	,	0
N	,	56	,	329	,	235	,	0
N	,	57	,	352.5	,	235	,	0
N	,	58	,	376	,	235	,	0
N	,	59	,	399.5	,	235	,	0
N	,	60	,	423	,	235	,	0
N	,	61	,	446.5	,	235	,	0
N	,	62	,	470	,	235	,	0
N	,	63	,	480.9	,	235	,	0
N	,	64	,	481.1	,	235	,	0
N	,	65	,	540.5	,	235	,	0
N	,	66	,	564	,	235	,	0
N	,	67	,	587.5	,	235	,	0
N	,	68	,	611	,	235	,	0
N	,	69	,	634.5	,	235	,	0
N	,	70	,	658	,	235	,	0
N	,	71	,	681.5	,	235	,	0

N	,	72	,	705	,	235	,	0
N	,	73	,	728.5	,	235	,	0
N	,	74	,	752	,	235	,	0
N	,	75	,	775.5	,	235	,	0
N	,	76	,	799	,	235	,	0
N	,	77	,	822.5	,	235	,	0
N	,	78	,	846	,	235	,	0
N	,	79	,	869.5	,	235	,	0
N	,	80	,	893	,	235	,	0
N	,	81	,	916.5	,	235	,	0
N	,	82	,	940	,	235	,	0
N	,	83	,	235	,	705	,	0
N	,	84	,	235	,	681.5	,	0
N	,	85	,	235	,	658	,	0
N	,	86	,	235	,	634.5	,	0
N	,	87	,	235	,	611	,	0
N	,	88	,	235	,	587.5	,	0
N	,	89	,	235	,	564	,	0
N	,	90	,	235	,	540.5	,	0
N	,	91	,	235	,	517	,	0
N	,	92	,	235	,	493.5	,	0
N	,	94	,	235	,	446.5	,	0
N	,	95	,	235	,	423	,	0
N	,	96	,	235	,	399.5	,	0
N	,	97	,	235	,	354.5	,	0
N	,	98	,	235	,	354.3	,	0
N	,	99	,	235	,	329	,	0
N	,	100	,	235	,	305.5	,	0
N	,	101	,	235	,	282	,	0
N	,	102	,	235	,	258.5	,	0
N	,	104	,	235	,	211.5	,	0
N	,	105	,	235	,	188	,	0
N	,	106	,	235	,	164.5	,	0
N	,	107	,	235	,	141	,	0
N	,	108	,	235	,	117.5	,	0
N	,	109	,	235	,	94	,	0
N	,	110	,	235	,	70.5	,	0

N	,	111	,	235	,	47	,	0
N	,	112	,	235	,	23.5	,	0
N	,	113	,	235	,	0	,	0
N	,	114	,	470	,	705	,	0
N	,	115	,	470	,	681.5	,	0
N	,	116	,	470	,	658	,	0
N	,	117	,	470	,	634.5	,	0
N	,	118	,	470	,	611	,	0
N	,	119	,	470	,	587.5	,	0
N	,	120	,	470	,	564	,	0
N	,	121	,	470	,	540.5	,	0
N	,	122	,	470	,	517	,	0
N	,	123	,	470	,	493.5	,	0
N	,	125	,	470	,	446.5	,	0
N	,	126	,	470	,	423	,	0
N	,	127	,	470	,	399.5	,	0
N	,	128	,	470	,	376	,	0
N	,	129	,	470	,	352.5	,	0
N	,	130	,	470	,	329	,	0
N	,	131	,	470	,	305.5	,	0
N	,	132	,	470	,	282	,	0
N	,	133	,	470	,	258.5	,	0
N	,	135	,	470	,	211.5	,	0
N	,	136	,	470	,	188	,	0
N	,	137	,	470	,	164.5	,	0
N	,	138	,	470	,	141	,	0
N	,	139	,	470	,	117.5	,	0
N	,	140	,	470	,	94	,	0
N	,	141	,	470	,	70.5	,	0
N	,	142	,	470	,	47	,	0
N	,	143	,	470	,	23.5	,	0
N	,	144	,	470	,	0	,	0
N	,	145	,	705	,	705	,	0
N	,	146	,	705	,	681.5	,	0
N	,	147	,	705	,	658	,	0
N	,	148	,	705	,	634.5	,	0
N	,	149	,	705	,	611	,	0

N	,	150	,	705	,	587.5	,	0
N	,	151	,	705	,	564	,	0
N	,	152	,	705	,	540.5	,	0
N	,	153	,	705	,	517	,	0
N	,	154	,	705	,	493.5	,	0
N	,	156	,	705	,	446.5	,	0
N	,	157	,	705	,	423	,	0
N	,	158	,	705	,	399.5	,	0
N	,	159	,	705	,	376	,	0
N	,	160	,	705	,	352.5	,	0
N	,	161	,	705	,	329	,	0
N	,	162	,	705	,	305.5	,	0
N	,	163	,	705	,	282	,	0
N	,	164	,	705	,	258.5	,	0
N	,	166	,	705	,	211.5	,	0
N	,	167	,	705	,	188	,	0
N	,	168	,	705	,	164.5	,	0
N	,	169	,	705	,	141	,	0
N	,	170	,	705	,	117.5	,	0
N	,	171	,	705	,	94	,	0
N	,	172	,	705	,	70.5	,	0
N	,	173	,	705	,	47	,	0
N	,	174	,	705	,	23.5	,	0
N	,	175	,	705	,	0	,	0

ET,1,BEAM44

REAL,1

EN	,	1	,	1	,	2
EN	,	2	,	2	,	3
EN	,	3	,	3	,	4
EN	,	4	,	4	,	5
EN	,	5	,	5	,	6
EN	,	6	,	6	,	7
EN	,	7	,	7	,	8
EN	,	8	,	8	,	9
EN	,	9	,	9	,	10
EN	,	10	,	10	,	11
EN	,	11	,	11	,	12

EN	,	12	,	12	,	13
EN	,	13	,	13	,	14
EN	,	14	,	14	,	15
EN	,	15	,	15	,	16
EN	,	16	,	16	,	17
EN	,	17	,	17	,	18
EN	,	18	,	18	,	19
EN	,	19	,	19	,	20
EN	,	20	,	20	,	21
EN	,	21	,	21	,	22
EN	,	22	,	22	,	23
EN	,	23	,	23	,	24
EN	,	24	,	24	,	25
EN	,	25	,	25	,	26
EN	,	26	,	26	,	27
EN	,	27	,	27	,	28
EN	,	28	,	28	,	29
EN	,	29	,	29	,	30
EN	,	30	,	30	,	31
EN	,	31	,	31	,	32
EN	,	32	,	32	,	33
EN	,	33	,	33	,	34
EN	,	34	,	34	,	35
EN	,	35	,	35	,	36
EN	,	36	,	36	,	37
EN	,	37	,	37	,	38
EN	,	38	,	38	,	39
EN	,	39	,	39	,	40
EN	,	40	,	40	,	41
EN	,	42	,	42	,	43
EN	,	43	,	43	,	44
EN	,	44	,	44	,	45
EN	,	45	,	45	,	46
EN	,	46	,	46	,	47
EN	,	47	,	47	,	48
EN	,	48	,	48	,	49
EN	,	49	,	49	,	50

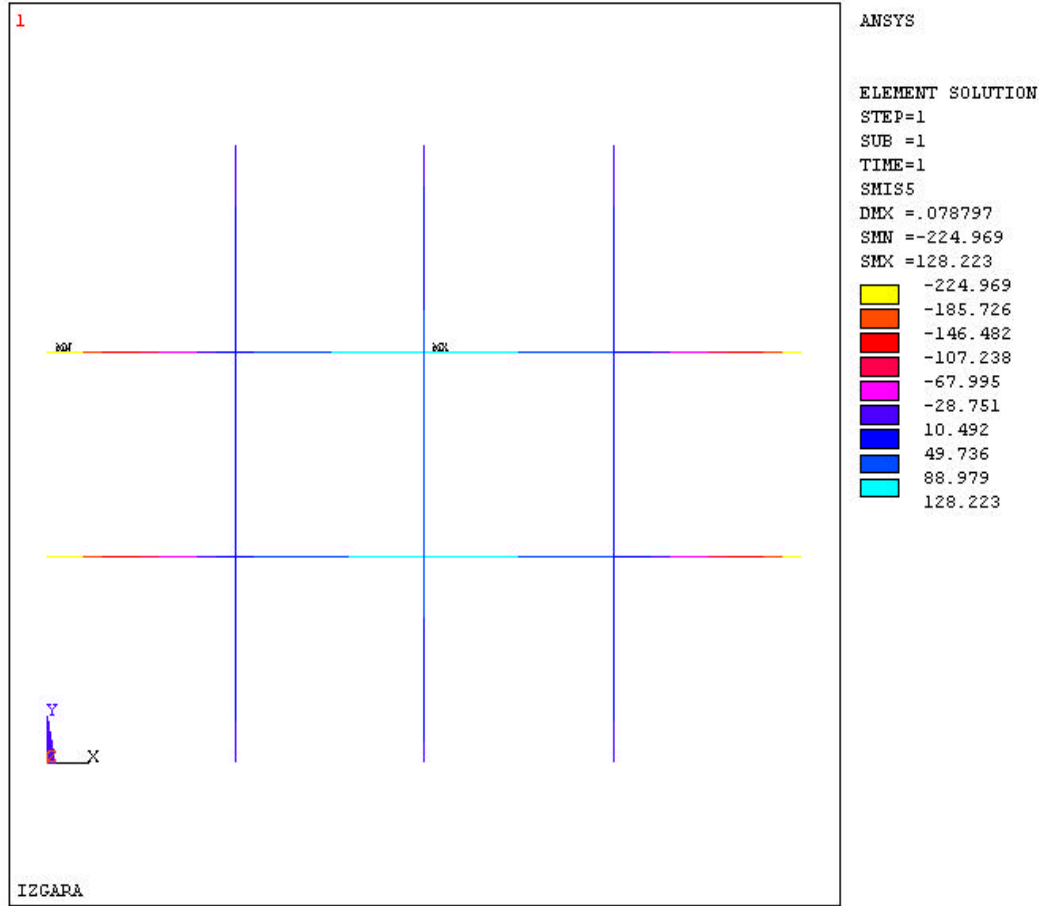
EN	,	50	,	50	,	51
EN	,	51	,	51	,	52
EN	,	52	,	52	,	53
EN	,	53	,	53	,	54
EN	,	54	,	54	,	55
EN	,	55	,	55	,	56
EN	,	56	,	56	,	57
EN	,	57	,	57	,	58
EN	,	58	,	58	,	59
EN	,	59	,	59	,	60
EN	,	60	,	60	,	61
EN	,	61	,	61	,	62
EN	,	62	,	62	,	63
EN	,	63	,	63	,	64
EN	,	64	,	64	,	65
EN	,	65	,	65	,	66
EN	,	66	,	66	,	67
EN	,	67	,	67	,	68
EN	,	68	,	68	,	69
EN	,	69	,	69	,	70
EN	,	70	,	70	,	71
EN	,	71	,	71	,	72
EN	,	72	,	72	,	73
EN	,	73	,	73	,	74
EN	,	74	,	74	,	75
EN	,	75	,	75	,	76
EN	,	76	,	76	,	77
EN	,	77	,	77	,	78
EN	,	78	,	78	,	79
EN	,	79	,	79	,	80
EN	,	80	,	80	,	81
EN	,	81	,	81	,	82
REAL,2						
EN	,	83	,	83	,	84
EN	,	84	,	84	,	85
EN	,	85	,	85	,	86
EN	,	86	,	86	,	87

EN	,	87	,	87	,	88
EN	,	88	,	88	,	89
EN	,	89	,	89	,	90
EN	,	90	,	90	,	91
EN	,	91	,	91	,	92
EN	,	92	,	92	,	11
EN	,	93	,	11	,	94
EN	,	94	,	94	,	95
EN	,	95	,	95	,	96
EN	,	96	,	96	,	97
EN	,	97	,	97	,	98
EN	,	98	,	98	,	99
EN	,	99	,	99	,	100
EN	,	100	,	100	,	101
EN	,	101	,	101	,	102
EN	,	102	,	102	,	52
EN	,	103	,	52	,	104
EN	,	104	,	104	,	105
EN	,	105	,	105	,	106
EN	,	106	,	106	,	107
EN	,	107	,	107	,	108
EN	,	108	,	108	,	109
EN	,	109	,	109	,	110
EN	,	110	,	110	,	111
EN	,	111	,	111	,	112
EN	,	112	,	112	,	113
EN	,	114	,	114	,	115
EN	,	115	,	115	,	116
EN	,	116	,	116	,	117
EN	,	117	,	117	,	118
EN	,	118	,	118	,	119
EN	,	119	,	119	,	120
EN	,	120	,	120	,	121
EN	,	121	,	121	,	122
EN	,	122	,	122	,	123
EN	,	123	,	123	,	21
EN	,	124	,	21	,	125

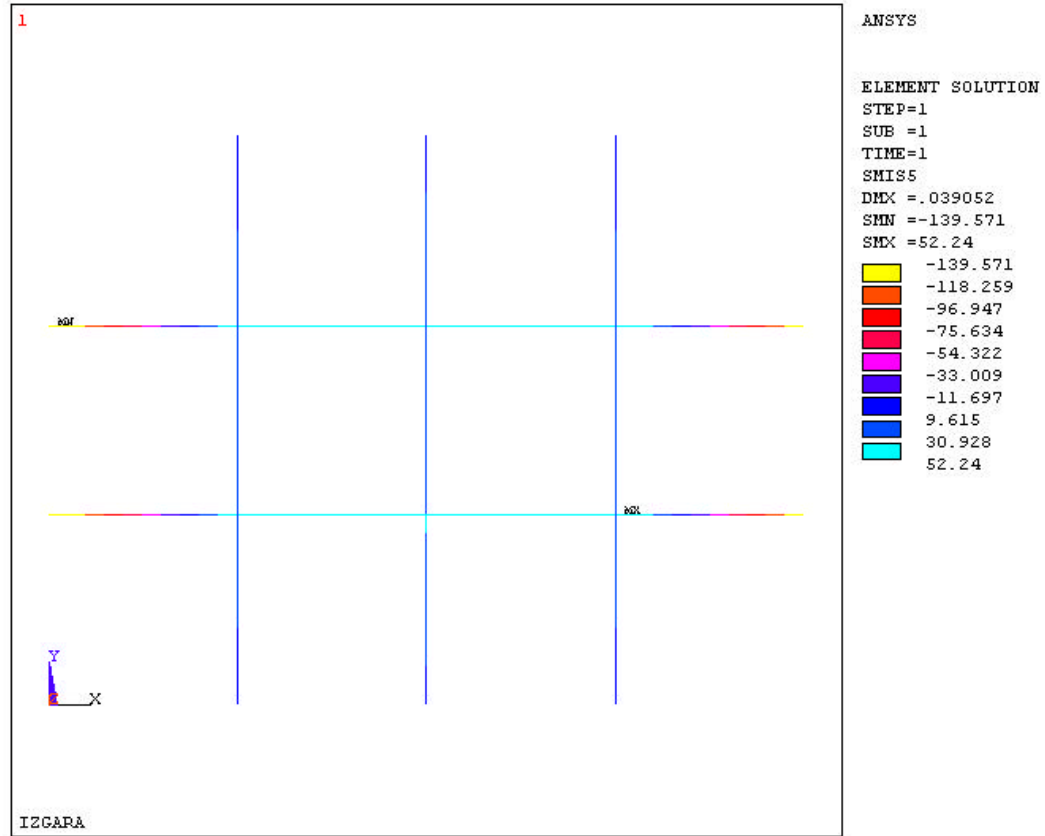
EN	,	125	,	125	,	126
EN	,	126	,	126	,	127
EN	,	127	,	127	,	128
EN	,	128	,	128	,	129
EN	,	129	,	129	,	130
EN	,	130	,	130	,	131
EN	,	131	,	131	,	132
EN	,	132	,	132	,	133
EN	,	133	,	133	,	62
EN	,	134	,	62	,	135
EN	,	135	,	135	,	136
EN	,	136	,	136	,	137
EN	,	137	,	137	,	138
EN	,	138	,	138	,	139
EN	,	139	,	139	,	140
EN	,	140	,	140	,	141
EN	,	141	,	141	,	142
EN	,	142	,	142	,	143
EN	,	143	,	143	,	144
EN	,	145	,	145	,	146
EN	,	146	,	146	,	147
EN	,	147	,	147	,	148
EN	,	148	,	148	,	149
EN	,	149	,	149	,	150
EN	,	150	,	150	,	151
EN	,	151	,	151	,	152
EN	,	152	,	152	,	153
EN	,	153	,	153	,	154
EN	,	154	,	154	,	31
EN	,	155	,	31	,	156
EN	,	156	,	156	,	157
EN	,	157	,	157	,	158
EN	,	158	,	158	,	159
EN	,	159	,	159	,	160
EN	,	160	,	160	,	161
EN	,	161	,	161	,	162
EN	,	162	,	162	,	163

EN	,	163	,	163	,	164
EN	,	164	,	164	,	72
EN	,	165	,	72	,	166
EN	,	166	,	166	,	167
EN	,	167	,	167	,	168
EN	,	168	,	168	,	169
EN	,	169	,	169	,	170
EN	,	170	,	170	,	171
EN	,	171	,	171	,	172
EN	,	172	,	172	,	173
EN	,	173	,	173	,	174
EN	,	174	,	174	,	175
D,83,UZ,0.0						
D,113,UZ,0.0						
D,114,UZ,0.0						
D,144,UZ,0.0						
D,145,UZ,0.0						
D,175,UZ,0.0						
D,1,ALL,0.0						
D,41,ALL,0.0						
D,42,ALL,0.0						
D,82,ALL,0.0						
MP,EX,1,7E+4,,						
MP,NUXY,1,0.3,,						
R,1,40,13.3333,1333.3333,20,2						
R,2,30,10,562.5,15,2						
FINISH						

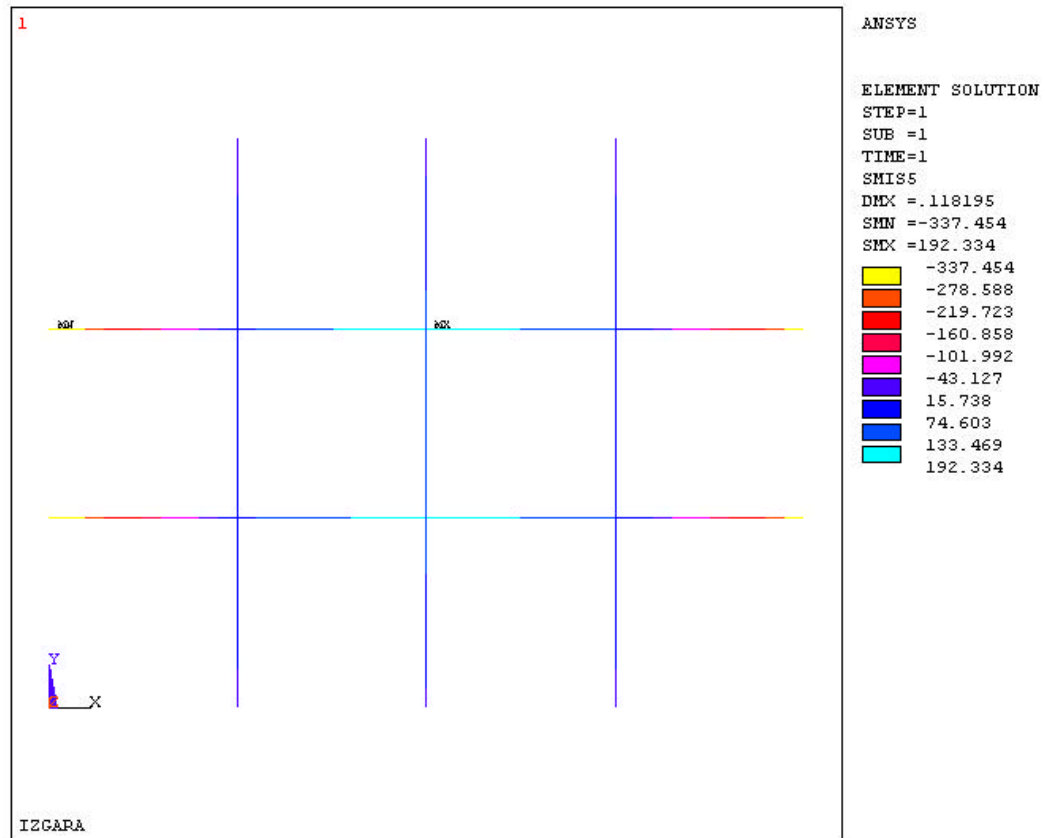
EK D



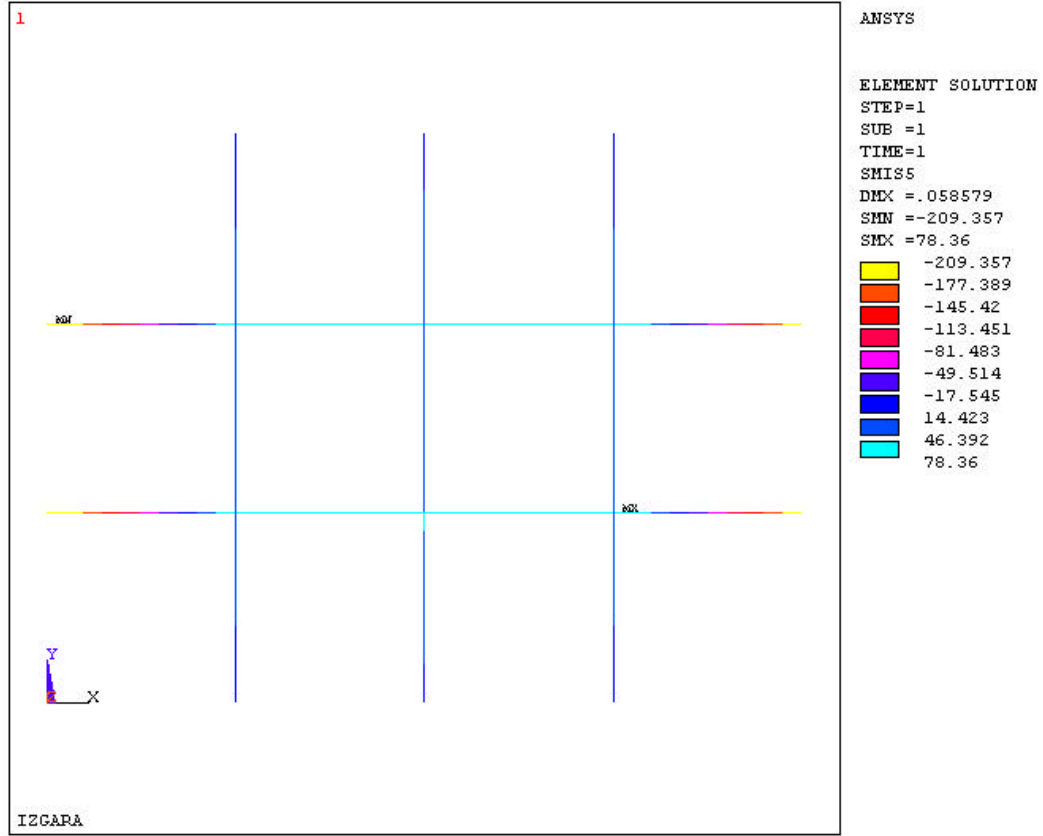
Sekil D.1 Yükleme 1'den elde edilen moment dagilimleri



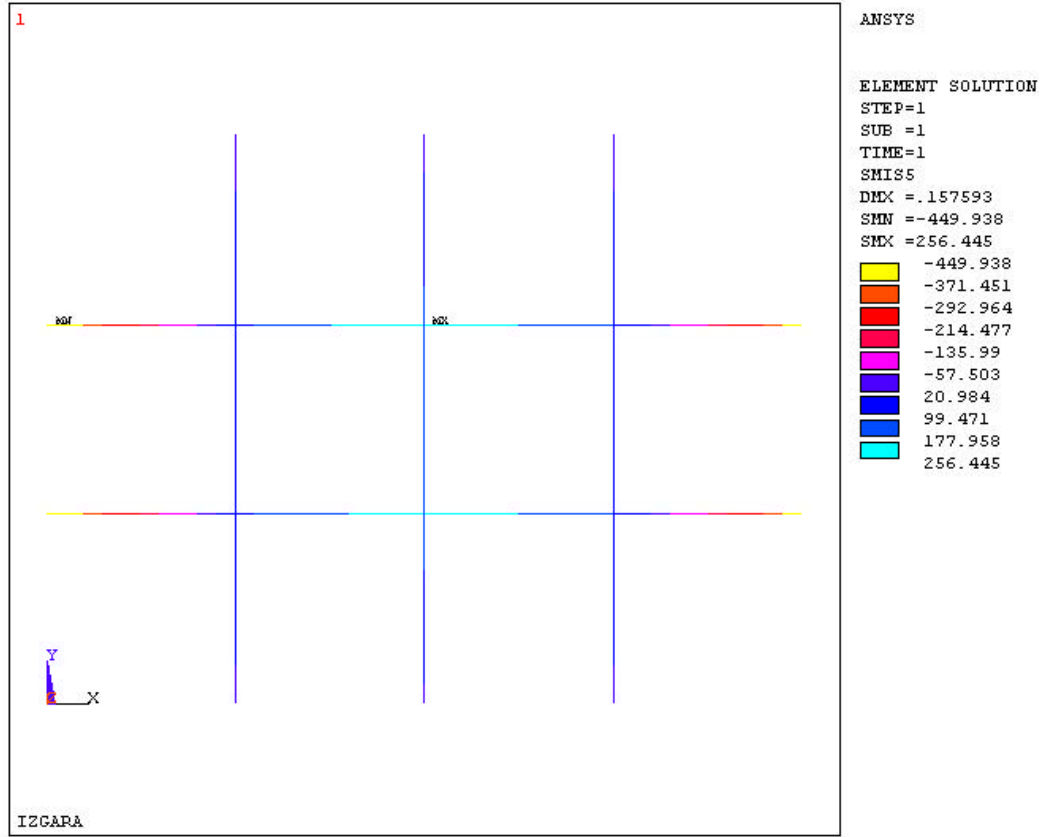
Sekil D.2 Yükleme 2’den elde edilen moment dagilimleri



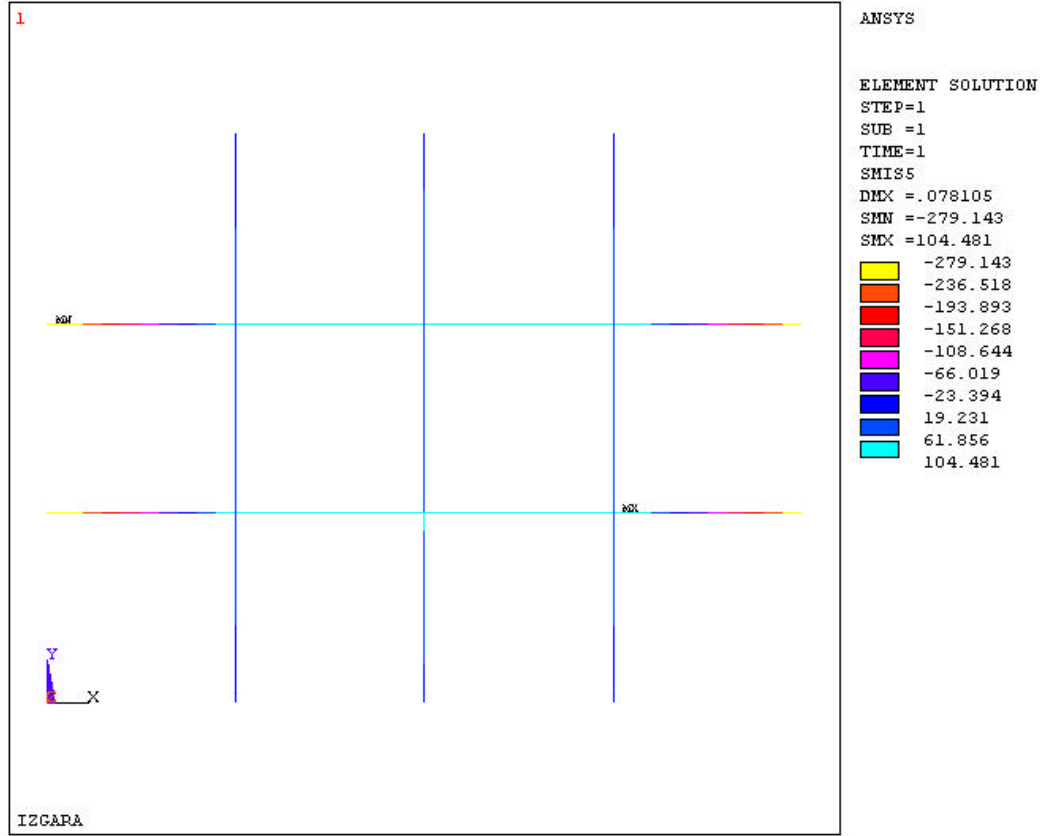
Sekil D.3 Yükleme 3’den elde edilen moment dagilimleri



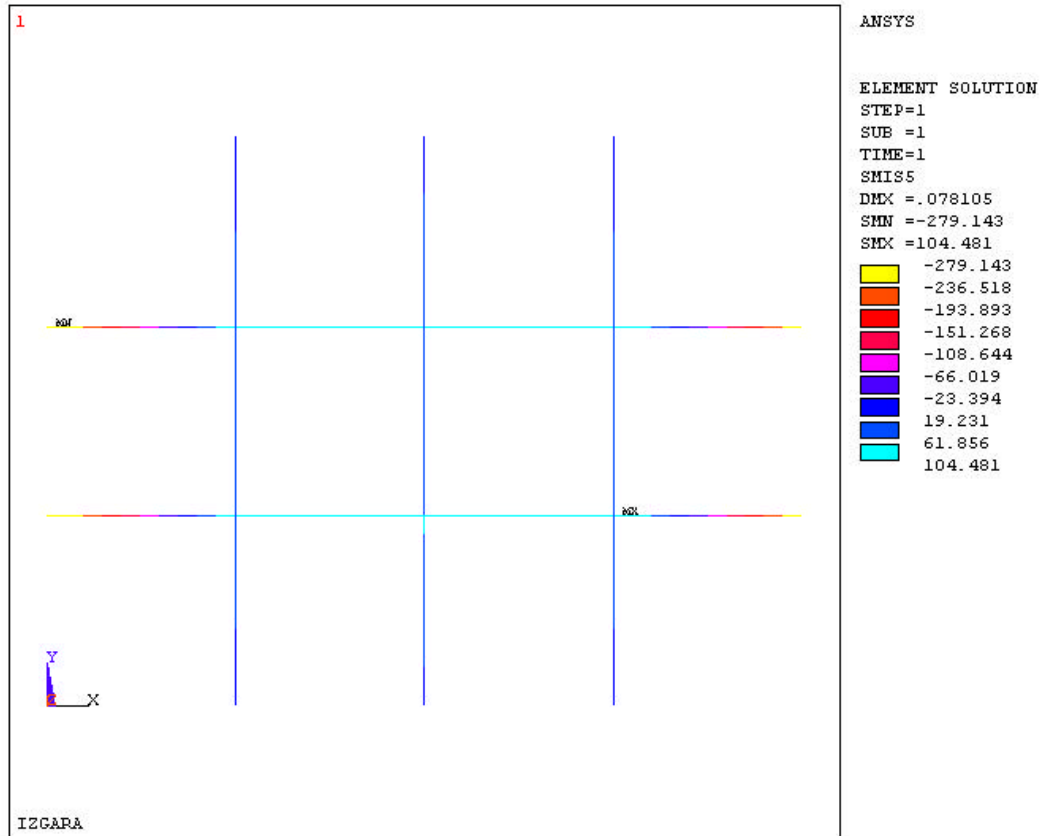
Sekil D.4 Yükleme 4'den elde edilen moment dagilimleri



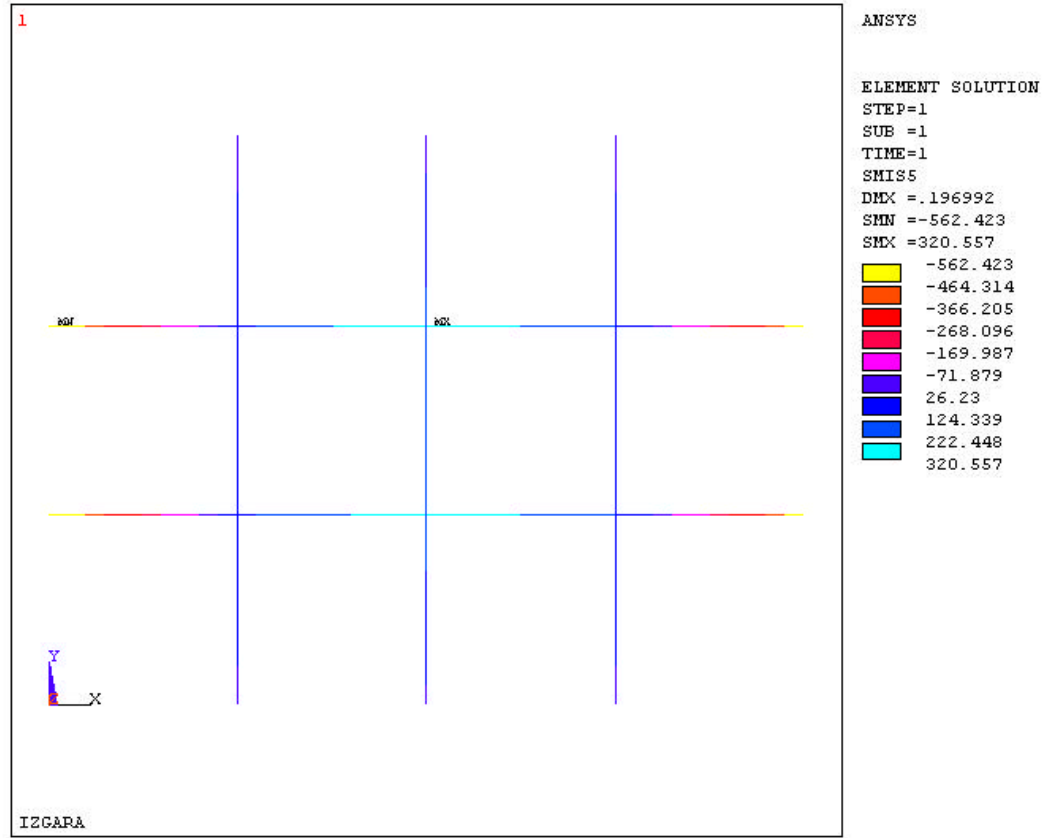
Sekil D.5 Yükleme 5'den elde edilen moment dagilimleri



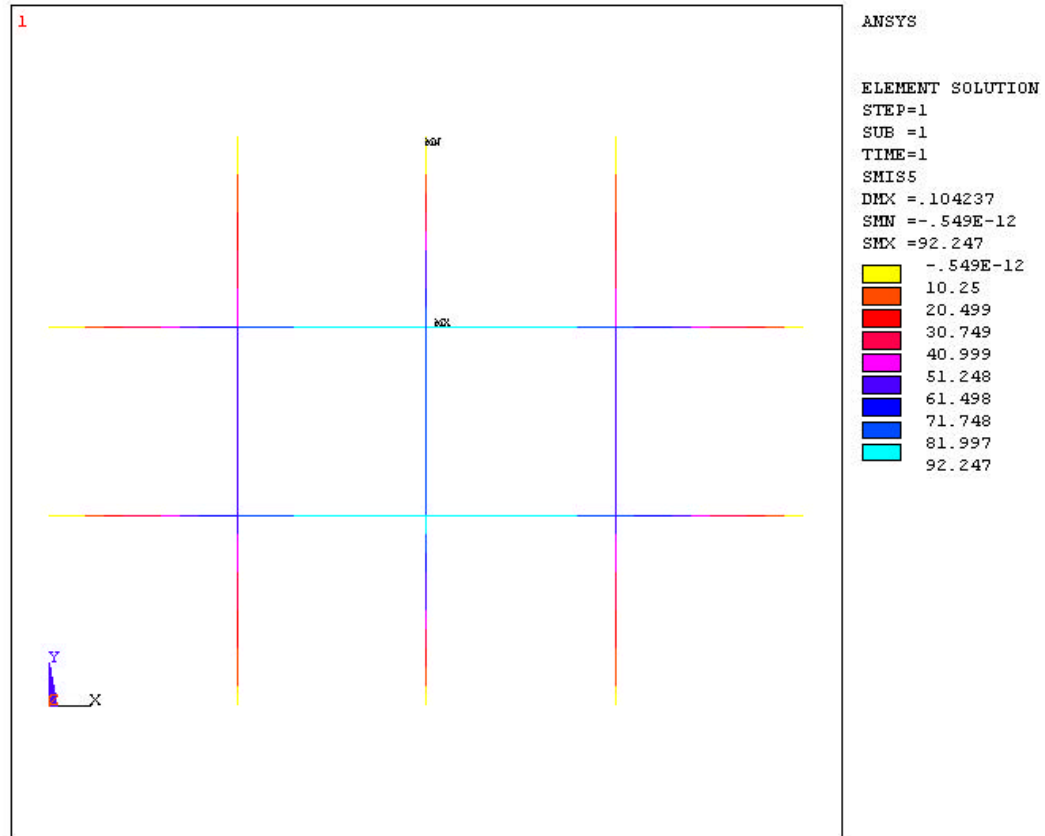
Sekil D.6 Yükleme 6'dan elde edilen moment dagilimleri



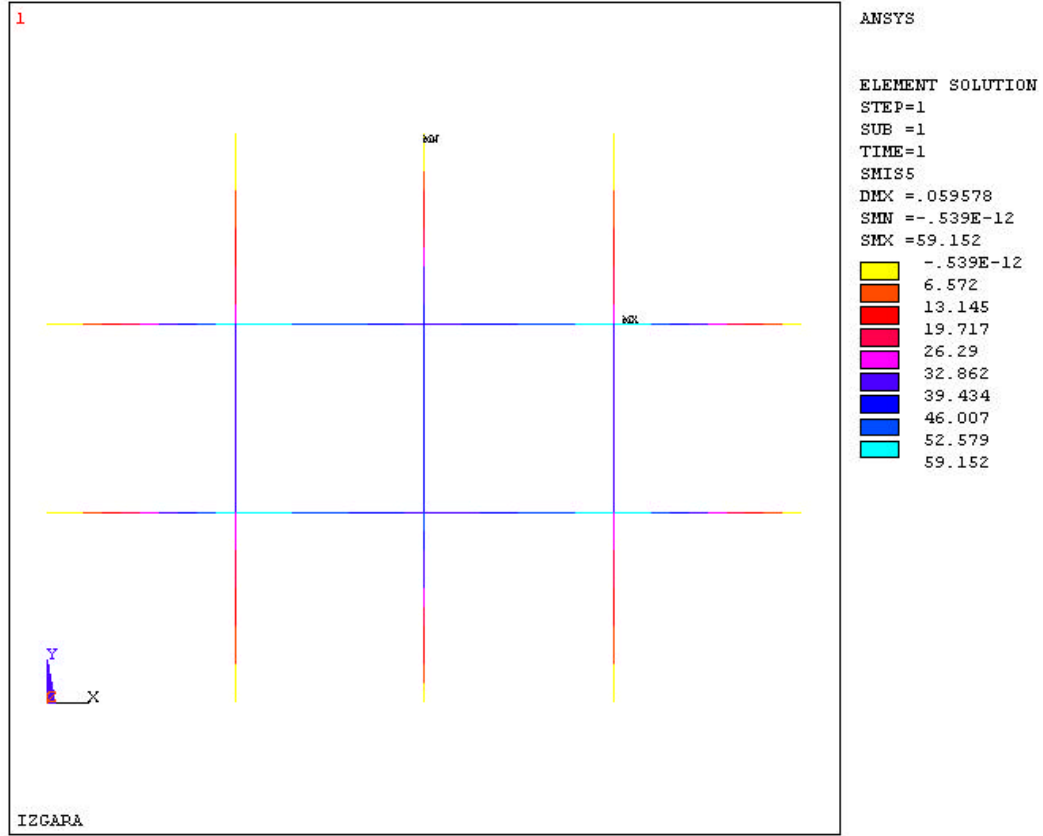
Sekil D.7 Yükleme 7'den elde edilen moment dagilimleri



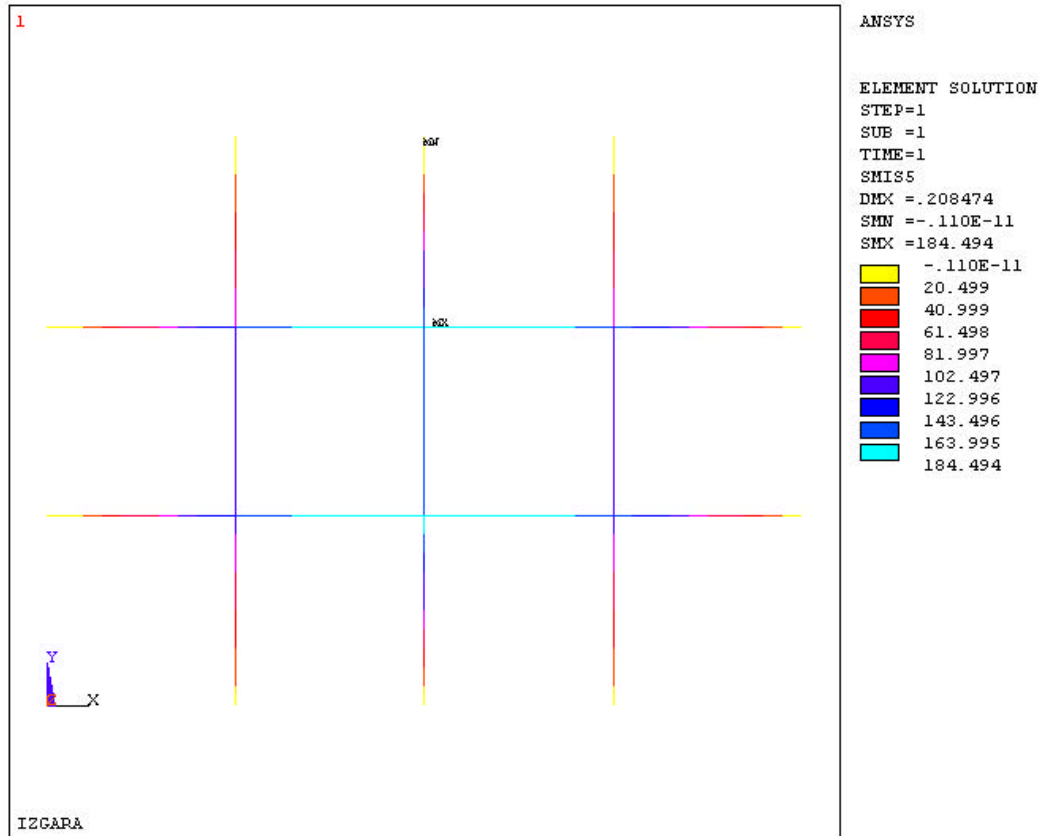
Sekil D.8 Yükleme 8’den elde edilen moment dagilimleri



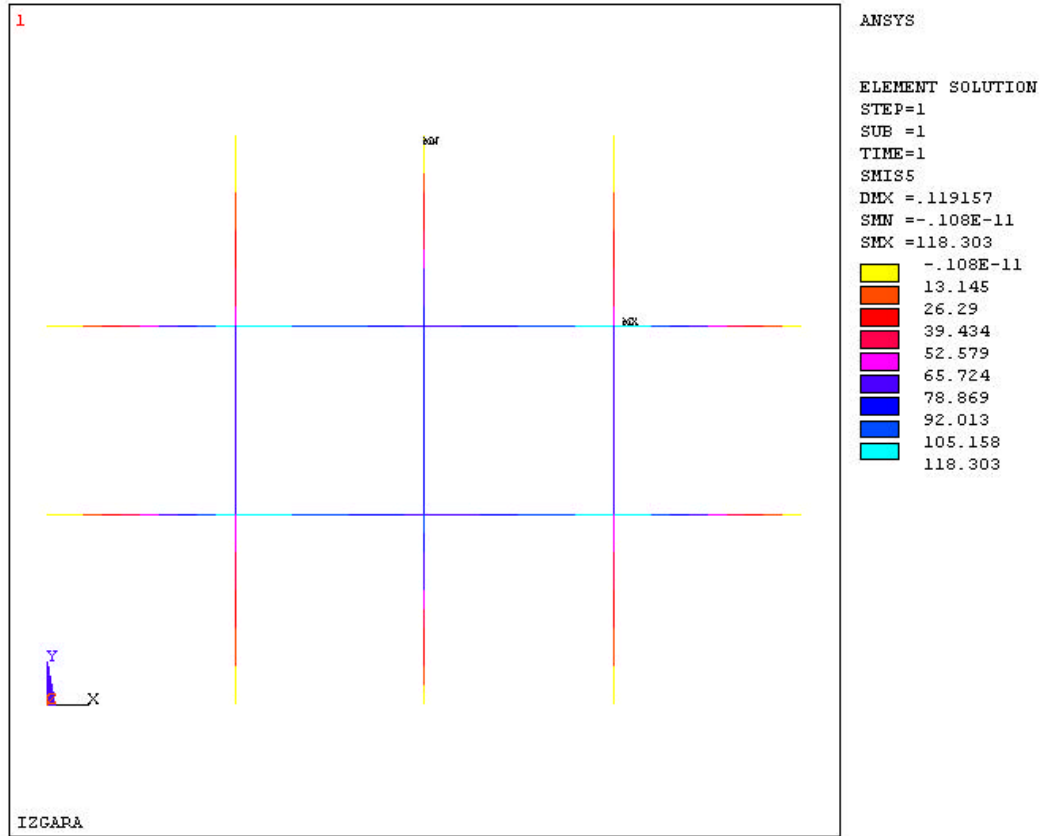
Sekil D.9 Yükleme 9’dan elde edilen moment dagilimleri



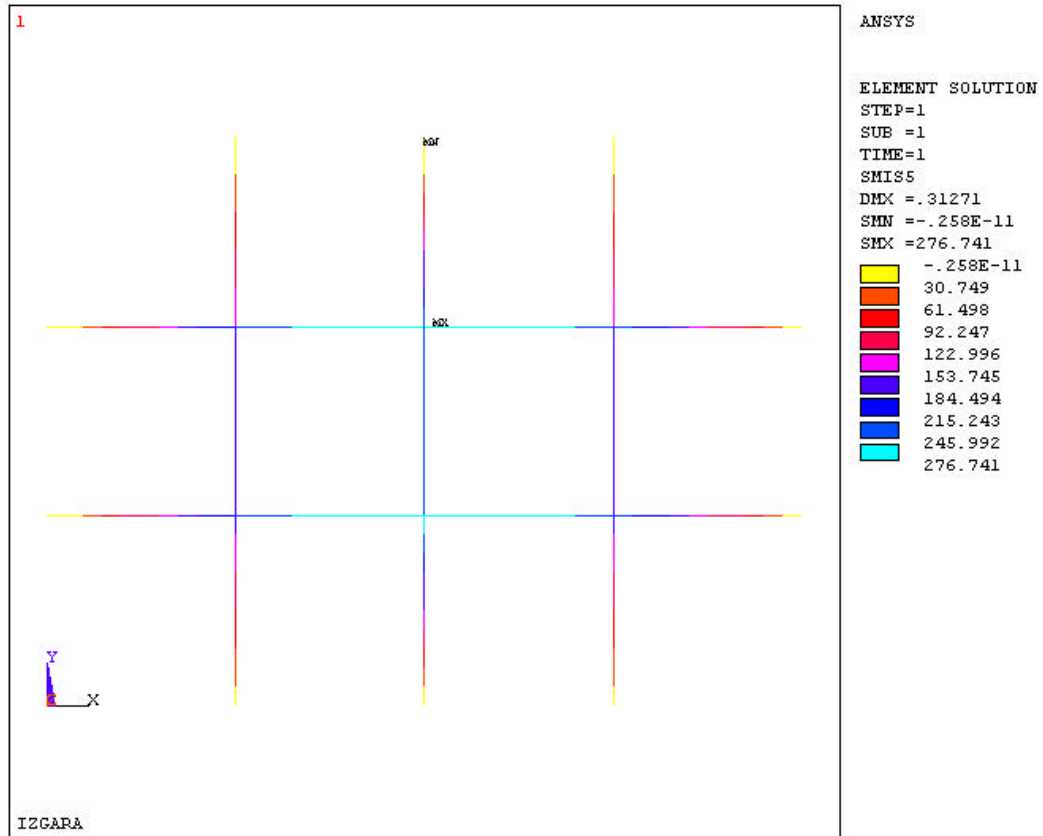
Sekil D.10 Yükleme 10'dan elde edilen moment dagilimleri



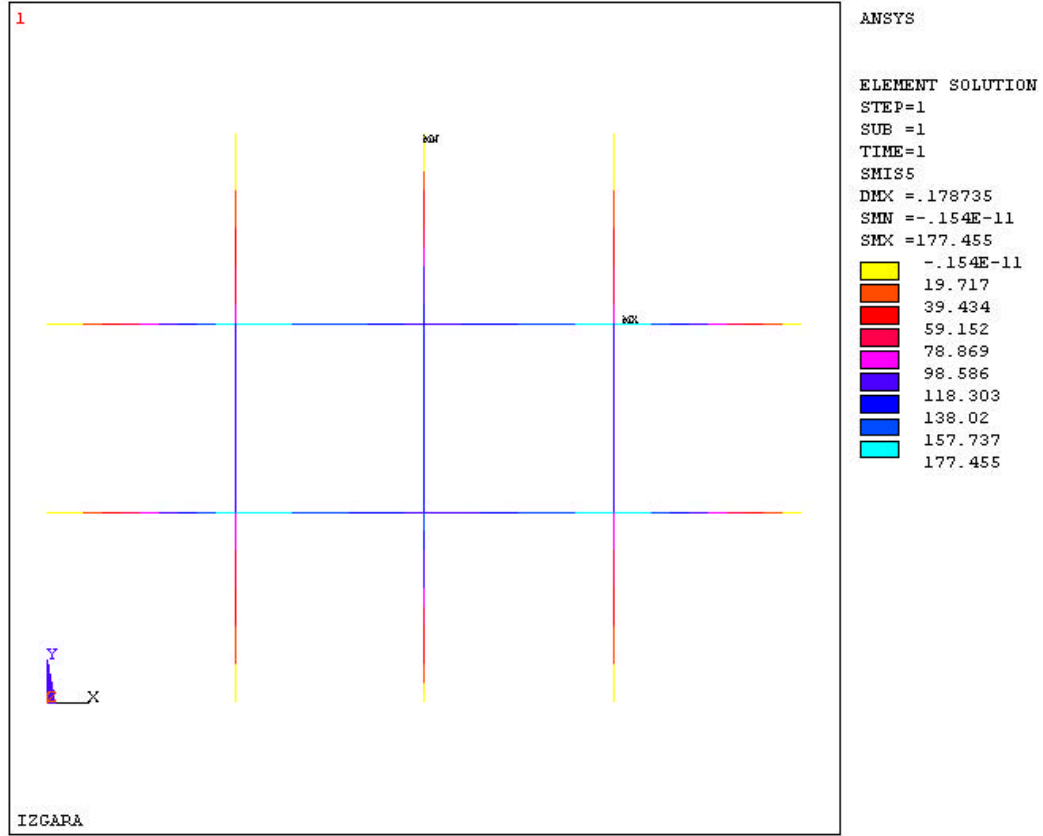
Sekil D.11 Yükleme 11'den elde edilen moment dagilimleri



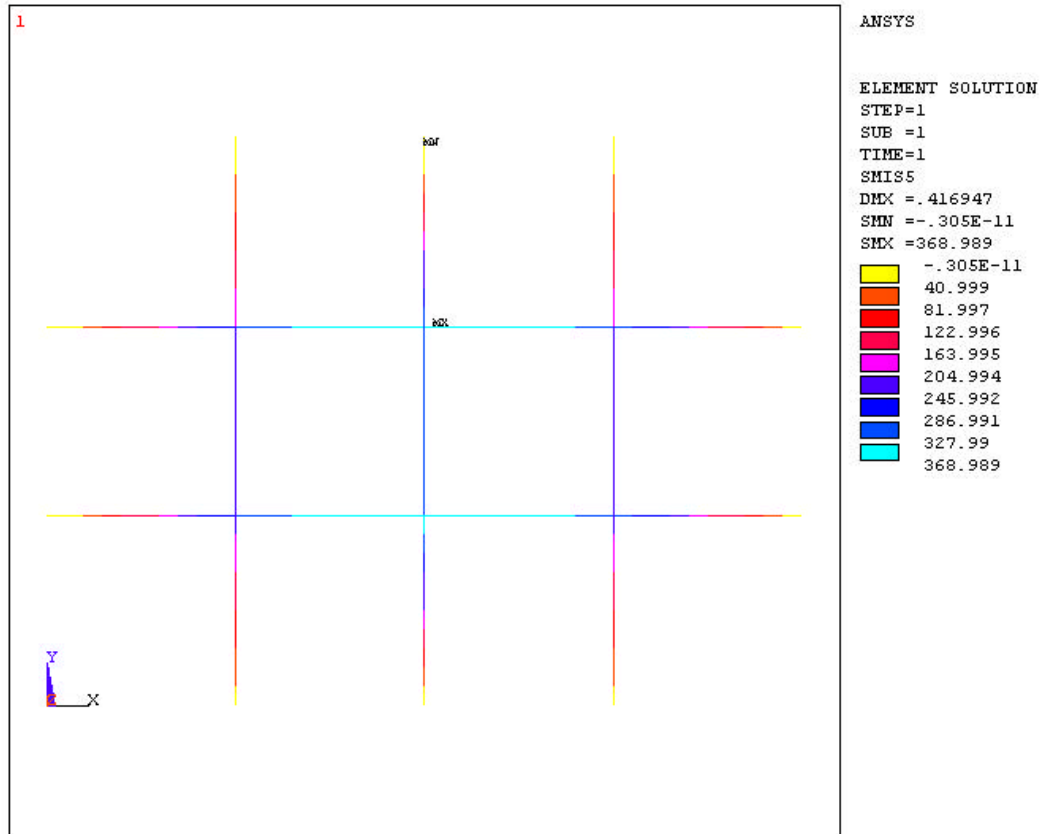
Sekil D.12 Yükleme 12'den elde edilen moment dagilimleri



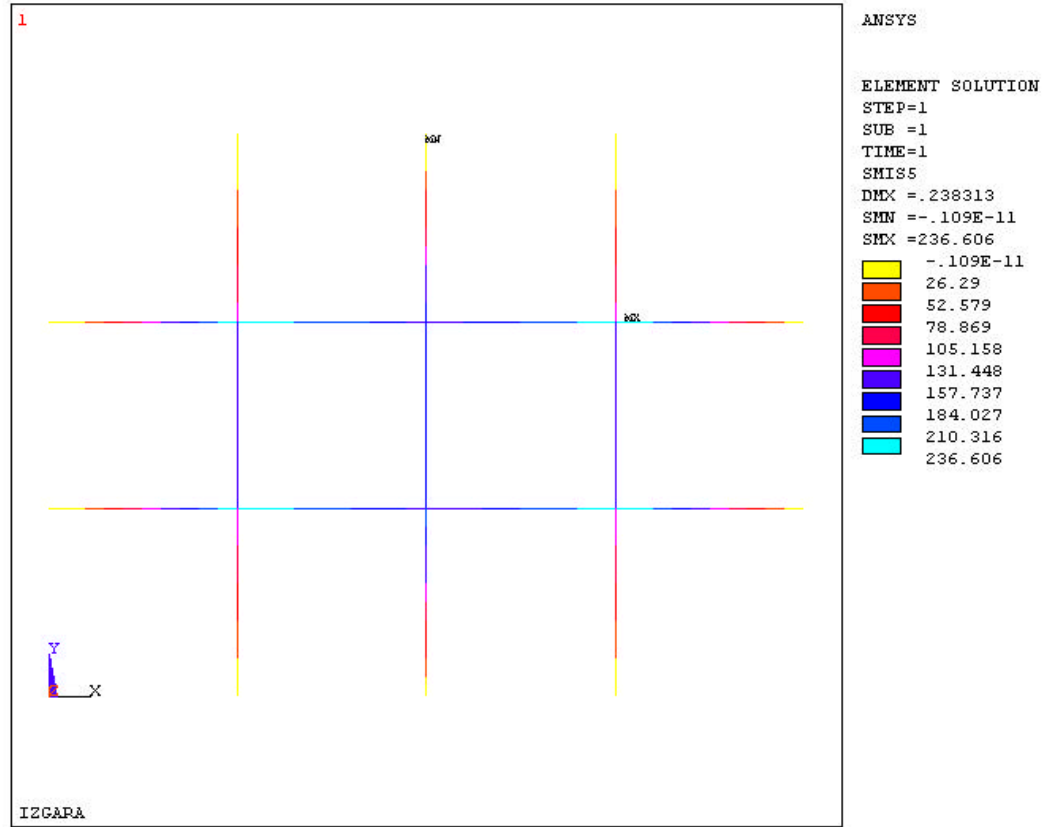
Sekil D.13 Yükleme 13'den elde edilen moment dagilimleri



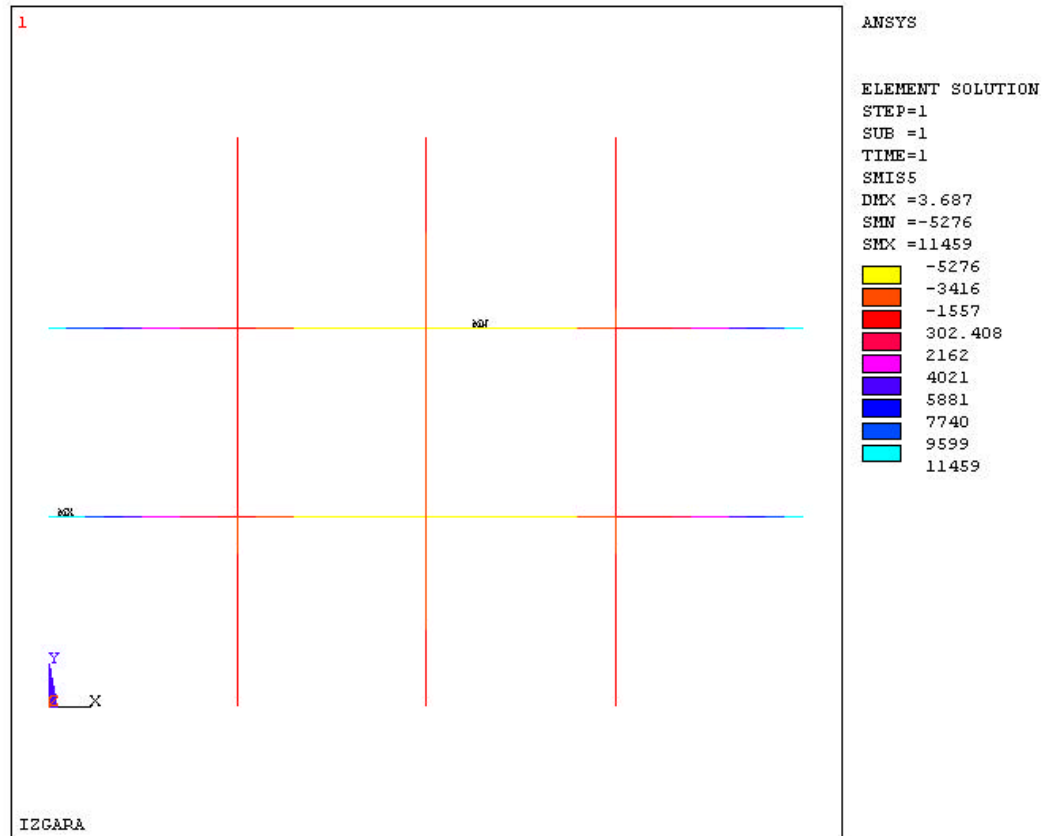
Sekil D.14 Yükleme 14'den elde edilen moment dagilimleri



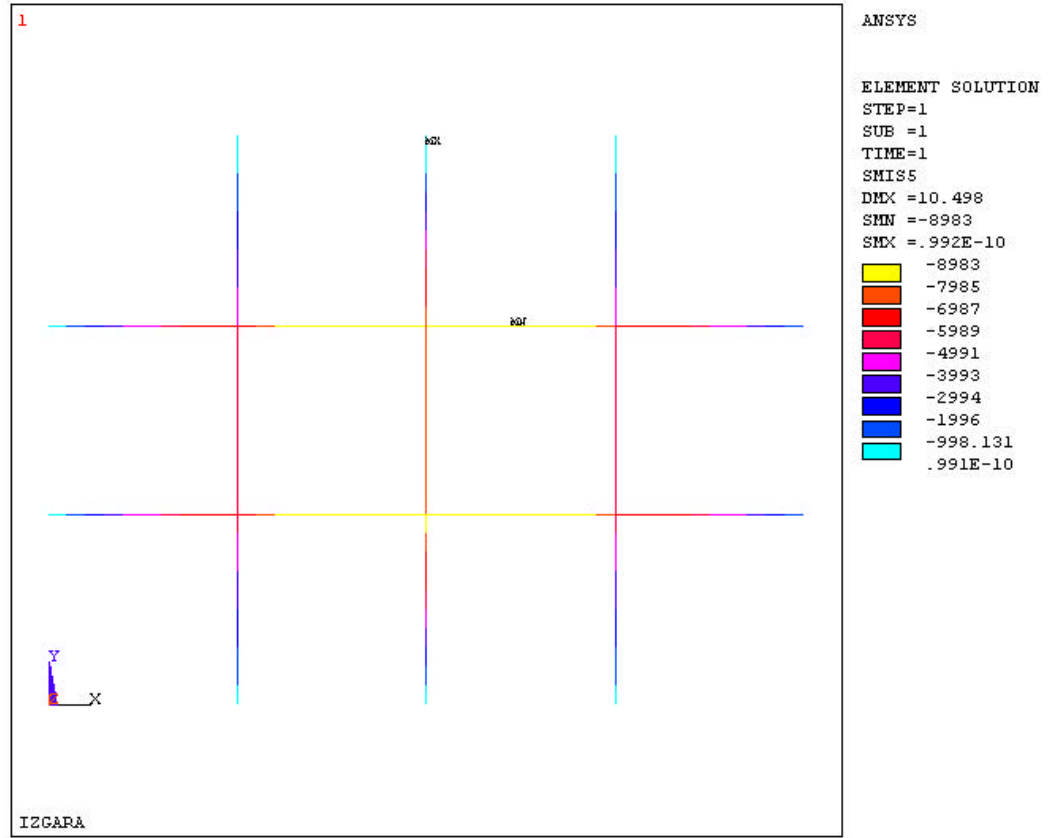
Sekil D.15 Yükleme 15'den elde edilen moment dagilimleri



Sekil D.16 Yükleme 16'dan elde edilen moment dağılımları



Sekil D.17 Ankastre mesnet ve düzgün yayılı yüklem durumunda moment dağılımları



Sekil D.18 Basit mesnet ve düzgün yayılı yükleme durumunda moment dağılımları

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İzmit'te doğan Gökhan Tansel TAYYAR, ilk, orta, lise eğitimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 1995 yılında İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaat Bölümü'nü kazandı. 2000 yılı Haziran ayında mezun olduktan sonra 2001 yılında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu göreve devam etmektedir.