

**GEMİ ENKESİTİNDE DÜZLEM ÇERÇEVE MODELLEMESİ İLE SINIR
KOŞULLARININ NÜMERİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Murat ÖZKÖK
(508021014)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Ocak 2005

Tez Danışmanı :

Yrd.Doç.Dr. Ertekin BAYRAKTARKATAL

Diğer Jüri Üyeleri

Doç.Dr. Ömer BELİK (İ.T.Ü.)

Doç.Dr. Ahmet ERGİN (İ.T.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu çalışmada bana değerli fikirleri ile yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ertekin Bayraktarkatal'a, öğrencilik hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Murat zkk

Aralık 2004



İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. YAPISAL ANALİZ	4
2.1. Fotoelastisite Yöntemi	4
2.1.1. Modelin hazırlanması	6
2.2. Sonlu Elemanlar Metodu	6
3. DENEYSEL VE NUMERİK ÇALIŞMA	9
3.1. Fotoelastisite Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımları	9
3.1.1. Deneysel çalışma	9
3.2. Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımları	14
3.3. Fotoelastisite Yöntemi İle Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımlarının Karşılaştırılması	14
4. YAPISAL MODEL VE NÜMERİK ANALİZ	15
4.1. Geminin Boyutları ve Kullanılan Yapı Elemanlarının Özellikleri	16
4.2. Model Üzerinde Yapılacak Yapısal Değişiklikler	17
4.3. ANSYS ile Modelleme	18
4.3.1. Bir tülani ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	20
4.3.1.1. Bir tülani ve 11 çerçeveden oluşan bloğun çeşitli braket boylarında köşe noktalarına etki eden moment değerleri ve ankastrelik oranları	22
4.3.1.2. Bir mesnetli sistemde ankastrelik oranların (c_1) kullanılmasıyla kemerelerin mukavemet momentlerin hesaplanması	24
- Bir mesnetli sistemde belirli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında kemerelerin mukavemet momentlerinin hesaplanması	26
4.3.2. İki tülani ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	28
4.3.2.1. İki tülani ve 11 çerçeveden oluşan sistemin çeşitli braket boylarında köşe noktalarına etki eden moment değerleri ve ankastrelik oranları	30
4.3.2.2. İki mesnetli sistemde ankastrelik oranların (c_1) kullanılmasıyla kemerelerin mukavemet momentlerin hesaplanması	32

- İki Mesnetli Sistemde Belirli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranlarında Kemerelerin Mukavemet Momentlerinin Hesaplanması	34
4.3.3. Üç tülani ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	36
4.3.3.1. Üç tülani ve 11 çerçeveden oluşan sistemin çeşitli braket boylarında köşe noktalarına etki eden moment değerleri ve ankastrelik oranları	37
4.3.3.2. Üç mesnetli sistemde ankastrelik oranların (c_1) kullanılmasıyla kemerelerin mukavemet momentlerin hesaplanması	39
-Üç mesnetli sistemde belirli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında kemerelerin mukavemet momentlerinin hesaplanması	41
4.3.4. Bir mesnetli blokta stringer sayısına bağlı olarak ankastrelik oranların değişimi	43
4.3.4.1. Bir tülani, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	44
4.3.4.2. Bir tülani, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	44
4.3.4.3. Bir tülani, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok	45
4.3.5. İki tülani blokta stringer sayısına bağlı olarak ankastrelik oranların değişimi	46
4.3.5.1. İki tülani, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	46
4.3.5.2. İki tülani, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	47
4.3.5.3. İki tülani, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	48
4.3.6. Üç tülani blokta stringer sayısına bağlı olarak ankastrelik oranların değişimi	49
4.3.6.1. Üç tülani, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	49
4.3.6.2. Üç tülani, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	50
4.3.6.3. Üç tülani, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan bloğun incelenmesi	50
5. SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR	52
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Yapı elemanlarının mukavemet momenti değerleri.....	17
Tablo 4.2. Bir tülânili yapı için desteklenmeyen boy/braket boyu oranları.....	21
Tablo 4.3. 600 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	22
Tablo 4.4. 800 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	22
Tablo 4.5. 1000 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	23
Tablo 4.6. 1200 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	23
Tablo 4.7. 1400 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	23
Tablo 4.8. Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=10,33$).....	27
Tablo 4.9. Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=7,75$).....	27
Tablo 4.10. Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=6,2$).....	27
Tablo 4.11. Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=5,16$).....	28
Tablo 4.12. Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=4,43$).....	28
Tablo 4.13. İki tülânili yapı için desteklenmeyen boy/braket boyu oranları.....	29
Tablo 4.14. 400 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	30
Tablo 4.15. 533 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	30
Tablo 4.16. 667 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	30
Tablo 4.17. 800 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	31
Tablo 4.18. 933 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	31
Tablo 4.19. İki mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=10,33$).....	34
Tablo 4.20. İki mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=7,75$).....	34

Tablo 4.21.	Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=6,2$).....	35
Tablo 4.22.	İki mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=5,16$).....	35
Tablo 4.23.	Bir mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=4,43$).....	35
Tablo 4.24.	Üç tülaneli yapı için desteklenmeyen boy/braket boyu oranları.....	36
Tablo 4.25.	300 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	37
Tablo 4.26.	400 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı	37
Tablo 4.27.	500 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	38
Tablo 4.28.	600 mm'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	38
Tablo 4.29.	700 m'lik braket boyunda moment ve ankastrelik moment oranı.....	38
Tablo 4.30.	Üç mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=10,33$).....	41
Tablo 4.31.	Üç mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=7,75$).....	42
Tablo 4.32.	Üç mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=6,2$).....	42
Tablo 4.33.	Üç mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri($k_1=5,16$).....	42
Tablo 4.34.	Üç mesnetli sistem için katsayı1-katsayı2-Wmin1-Wmin2 değerleri ($k_1=4,43$).....	43
Tablo 4.35.	Bir mesnet ve 1 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	44
Tablo 4.36.	Bir tülani ve 2 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	44
Tablo 4.37.	Bir tülani ve 3 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı	45
Tablo 4.38.	İki mesnet ve 1 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	47
Tablo 4.39.	İki mesnet ve 2 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	47
Tablo 4.40.	İki mesnet ve 3 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	48
Tablo 4.41.	Üç mesnet ve 1 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	49
Tablo 4.42.	Üç mesnet ve 2 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	50
Tablo 4.43.	Üç mesnet ve 3 stringerli blokta oluşan moment ve ankastrelik moment oranı.....	50
Tablo 5.1.	Bir mesnetli blok için çeşitli desteklenmeyen boy / braket boyu oranlarında önerilen katsayı1 ve mukavemet momentleri.....	58
Tablo 5.2.	İki mesnetli blok için çeşitli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında önerilen katsayı1 ve mukavemet momentleri.....	58

Tablo 5.3.	Üç mesnetli blok için çeşitli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında önerilen katsayı1 ve mukavemet momentleri.....	59
-------------------	--	-----------



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Fotoelastisite yönteminden elde edilen gerilme dağılımı ile sonlu elemanlar yönteminden (ANSYS) elde edilen gerilme dağılımları.....	5
Şekil 3.1	: Freze makinesi.....	9
Şekil 3.2	: Torna tezgahı.....	10
Şekil 3.3	: Fotoelastisite cihazı.....	10
Şekil 3.4	: Araldit model ve modelin cihaza yerleştirilmesi.....	10
Şekil 3.5	: 3 mm çaplı uç.....	10
Şekil 3.6	: 10 mm çaplı uç.....	10
Şekil 3.7	: 5'er kg'lık ağırlıklar.....	11
Şekil 3.8	: 8 kg'lık ağırlık.....	11
Şekil 3.9	: Ağırlığın asıldığı kanca.....	11
Şekil 3.10	: Metal platform.....	11
Şekil 3.11	: Metal platformun desteklenmesi.....	11
Şekil 3.12	: Ağırlığın modele asılması.....	13
Şekil 3.13	: Kemeredeki gerilme dağılımı	13
Şekil 3.14	: Braketdeki gerilme dağılımı.....	13
Şekil 3.15	: Kemeredeki gerilme dağılımı (ANSYS).....	14
Şekil 3.16	: Braketdeki gerilme dağılımı (ANSYS).....	14
Şekil 4.1	: Bir tülani ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	20
Şekil 4.2	: Braket boyu-ankastrelik moment oranı değişimi.....	24
Şekil 4.3	: Bir tülani (mesnetli) kemere sistemi.....	25
Şekil 4.4	: İki tülani ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	28
Şekil 4.5	: Braket boyu-ankastrelik moment oranı değişimi.....	31
Şekil 4.6	: İki tülani (mesnetli) kemere sistemi.....	32
Şekil 4.7	: Üç tülani ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	36
Şekil 4.8	: Braket boyu-ankastrelik moment oranı değişimi.....	39
Şekil 4.9	: Üç tülani (mesnetli) kemere sistemi.....	40
Şekil 4.10	: Bir tülani, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	44
Şekil 4.11	: Bir mesnet, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	44
Şekil 4.12	: Bir mesnet, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	45
Şekil 4.13	: Stringer sayısı-ankastrelik oran değişimi.....	45
Şekil 4.14	: Stringer sayısı-ankastrelik oran değişimi.....	46
Şekil 4.15	: İki mesnet, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	46
Şekil 4.16	: İki mesnet, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	47
Şekil 4.17	: İki mesnet, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	48
Şekil 4.18	: Stringer sayısı-ankastrelik oran değişimi.....	48
Şekil 4.19	: Stringer sayısı-ankastrelik oran değişimi.....	49
Şekil 4.20	: Üç mesnet, 1 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	49
Şekil 4.21	: Üç mesnet, 2 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	50

Şekil 4.22	: Üç mesnet, 3 stringer ve 11 çerçeveden oluşan blok.....	50
Şekil 4.23	: Stringer sayısı-ankastrelik oranı değişimi.....	51
Şekil 4.24	: Stringer sayısı-ankastrelik oranı değişimi.....	51
Şekil 5.1	: Çeşitli k_1 değerleri için tülani sayısı-ankastrelik oranı değişimi (normal çerçeve).....	52
Şekil 5.2	: Çeşitli k_1 değerleri için tülani sayısı-ankastrelik oranı değişimi (derin çerçeve).....	53
Şekil 5.3	: Çeşitli tülani sayılarında stringer sayısı-ankastrelik oranı değişimi (normal çerçeve).....	53
Şekil 5.4	: Çeşitli tülani sayılarında stringer sayısı-ankastrelik oranı değişimi (derin çerçeve).....	54
Şekil 5.5	: Çeşitli braket boylarında çerçevelerin köşe noktalarındaki ankastrelik moment oranları (1 tülanili blok için).....	55
Şekil 5.6	: Çeşitli braket boylarında çerçevelerin köşe noktalarındaki ankastrelik moment oranları (2 tülanili blok için).....	55
Şekil 5.7	: Çeşitli braket boylarında çerçevelerin köşe noktalarındaki ankastrelik moment oranları (3 tülanili blok için).....	56
Şekil 5.8	: Bir mesnetli sistem için katsayı1 ve katsayı2 değerleri.....	57
Şekil 5.9	: İki mesnetli sistem için katsayı1 ve katsayı2 değerleri.....	57
Şekil 5.10	: Üç mesnetli sistem için katsayı1 ve katsayı2 değerleri.....	57

SEMBOL LİSTESİ

W	: Kemerenin kesit modülü
L_{PP}	: Kaideler arası boy
L_{WL}	: Su hattı boyu
B	: Geminin genişliği
T	: Draft
H	: Geminin yüksekliği
C_B	: Blok katsayısı
a	: Postalar arası mesafe
p	: Kemereye gelen basınç
b	: Kemerenin desteklenmeyen boyu
k	: Malzeme faktörü
V_o	: Servis hızı
C₁	: Ankastrelik moment oranı
k₁	: Desteklenmeyen boy/braket boy oranı
q	: Kemere üzerine etki eden yayılı yük
I	: Atalet momenti

GEMİ ENKESİTİNDE DÜZLEM ÇERÇEVE MODELLEMESİ İLE SINIR KOŞULLARININ NÜMERİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kural Kitabında, bir gemiyi oluşturan yapı elemanlarıyla ilgili olarak birtakım minimum mukavemet momenti ifadeleri ile bazı katsayılar bulunmaktadır. Gemiye oluşturan yapı elemanlarından birisi normal kemerelelerdir. Bu çalışmada, normal kemereleler için birtakım minimum mukavemet momenti ifadeleri ile bazı katsayılar önerilecek ve bu ifadeler Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kural Kitabında normal kemereleler için verilen ifadelerle karşılaştırılacaktır.

Birinci bölümde, öncelikle nümerik çalışmalar ve beraberinde gelişen bilgisayar destekli çalışmalar hakkında bilgi verilmiş, ardından sonlu elemanlar yöntemiyle ilgili olarak yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

İkinci bölümde , bir eleman üzerindeki gerilme dağılımlarını gösteren deneysel bir yöntem olan fotoelastisite yöntemi ile günümüzde sıklıkla kullanılan nümerik bir yöntem olan sonlu elemanlar yöntemi hakkında teorik bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, fotoelastisite yöntemini kullanarak yapılan deneysel çalışma anlatılmış ve elde edilen gerilme dağılımları, sonlu elemanlar paket programı olan ANSYS'den elde edilen gerilme dağılımlarıyla karşılaştırılmıştır. Deneysel yöntem kullanılarak, ANSYS'den elde edilen gerilme dağılımlarının doğruluğunun desteklenmesi amaçlanmıştır.

Dördüncü bölümde, sistemin ANSYS'de nasıl modellendiği anlatılmış, model üzerinde posta ile kemerenin birleştiği noktaya ait ankastrelik moment oranı (c_1) değerleri hesaplanmış ve bu model üzerinde yapılacak olan yapısal değişikliklerin ilgili noktalardaki ankastrelik moment oranına (c_1) nasıl etki ettiğ i incelenmiştir. Hesaplanan ankastrelik moment oranlarından yararlanılarak, normal kemereleler için bir minimum mukavemet momenti ifadesi ortaya çıkarılmıştır. Ortaya konulan bu ifade, Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kural Kitabında normal kemereleler için verilen ifadelerle karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölüm ise, sonuç bölümüdür. Bu bölümde, elde edilen veriler yorumlanmış ve elde edilen verilerle ilgili olarak bazı eğriler çizilmiştir. Ayrıca, normal kemerelelerin minimum mukavemet momenti ile ilgili olarak önerilerde bulunulmuştur.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL OBSERVATION OF BOUNDARY CONDITIONS WITH PLANE FRAME MODELLING IN SHIP CROSS-SECTION

SUMMARY

In Turkish Loyd Steel Vessel Classification Rules, there are some formulations of section modulus and constants regarding structures forming a ship. One of these structures is normal beam. In this study, some expressions and constants for normal beams will be suggested and these expressions will also be compared with the expressions given by Turkish Loyd Steel Vessel Classification Rules.

In part one, firstly, numerical studies have been explained then some informations regarding finite element method have been given. Besides, the aim to do this study has been explained.

In part two, theoretical information about photoelasticity method that shows the stress distributions on a structure and finite element method used frequently in recent years have been given.

In part three, the experimental study made with photoelasticity method have been explained and the achieved stress distributions have been observed. These stress distributions have been compared with the stress distributions achieved with ANSYS that is a finite element package programme. The aim in using the experimental method is to support the truth of the stress distributions achieved with ANSYS.

In part four, how the system has been modeled in ANSYS has been explained and built-in support moment rates (c_1) belonging to the point that is the connection between frame and beam on the model have been calculated and how the changes to do on the model have affected " c_1 " values has been showed. Making use of the calculated " c_1 " values, a section module expression has been formed.

Part five is a final part. In this part, the achieved datas have been commented and some graphics have been drawn. Besides, some suggestions have been made.

1. GİRİŞ

Günümüzde, gemi bünyesini oluşturan elemanların yapısal analizi için, geleneksel hesap yöntemlerinin yerine, nümerik çözüm yöntemleri daha sık olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli çalışmalar, özellikle bilgisayar teknolojisinin ve kapasitelerinin hızla gelişmesi ve işlem yeteneklerinin artmasıyla birlikte günümüzde sıklıkla yapılmaktadır. Bu çalışmalar (bilgisayar destekli çalışmalar), 1950'lerin sonlarında başlar [1]. Bu dönemde, iki enine perde arasındaki gemi bloğu üzerinde yapısal modellemelerin yapıldığı görülmektedir. Gemi bünyesindeki bu nümerik lokal yapısal analiz çalışmaları devam etmiş ve elde edilen sonuçlar, zaman zaman deneysel çalışmalarla veya analitik hesaplamalarla karşılaştırılarak geliştirilmiştir.

Nümerik çalışmaların başlamasıyla birlikte, çeşitli paket programları üretilmiş ve günümüze kadar sürekli olarak geliştirilmiştir. Bu paket programlardan bazıları ANSYS, NASTRAN, NISA, SAP, SESAM-69, STAGS, MARC, ASAS, SAGS adları ile bilinen sonlu elemanlar programlarıdır [1]. Bu programlardan ANSYS ve NASTRAN özellikle yapı ile ilgili hesaplamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Morris, bir katamaranın bütün kabuk ve üst yapılarının üç boyutlu sonlu elemanlar yapısal analizini NASTRAN sonlu elemanlar programı kullanarak yapmıştır [2].

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlanmıştır. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında bahsedilmiştir. Araştırmacılar, 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak non-lineer problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk kez Martin (1965) tarafından

tartışılmıştır. Statik problemlerin yanısıra dinamik problemler de sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı. 1943 yılında Courant bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir. Yapı alanı dışındaki problemlerin sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin 1965 yılında Zienkiewicz ve Cheung sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yeraltı sularının akışı, manyetik alan ve diğer birçok alana uygulanmaktadır. Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlanmıştır. 1990 yıllarının ortaları itibariyle sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlamıştır [3].

Geliştirilen paket programlarıyla elemanlar üzerine etki eden yüklerin meydana getirdiği gerilme dağılımları görülebilmektedir. Bununla birlikte, elemanlar üzerindeki gerilme dağılımları deneysel yöntemlerle de incelenebilmektedir.

Bu deneysel yöntemlerden biri, fotoelastisite yöntemidir. Herhangi bir yapıdaki dış yüklerin etkisinden oluşacak gerilmeleri gözleyebilmek ve hesap edebilmek için kullanılan deneysel optik bir yöntem olan fotoelastisite konusunda ilk çalışmalar 1816'da David Brewster'in camın çift kırılma özelliğini bulmasıyla başlar [4]. İlk teori 1841 ve 1853 yıllarında Neumann ve Maxwell tarafından kurulmuş olup, ilk nümerik sonuç 1854 yılında Wertheim tarafından elde edilmiş ve Wertheim birçok malzemenin gerilme optik katsayılarını hesaplamıştır [5]. Fotoelastisitenin bir mühendislik probleminin çözümü olarak kullanılışı 1912'de Mesnager tarafından gerçekleştirilmiştir [4]. Bu metot, geçmişte, çatlamış numunelerdeki elastik gerilmeleri incelemek için sıklıkla kullanılırdı [6].

Bu çalışmada; nümerik, deneysel ve teorik yöntemler kullanılmıştır. Nümerik çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS paket programı, deneysel çalışmada fotoelastisite yöntemi, teorik çalışmada ise üç moment yöntemi kullanılmıştır. Burada, fotoelastisite yöntemini kullanmaktaki amaç; ANSYS ile elde edilen gerilme dağılımlarını, fotoelastisite yönteminden elde edilen gerilme

dağılımlarıyla karşılaştırmaktır. Bu şekilde, ANSYS'den elde edilen gerilme dağılımlarının doğruluğunun, deneysel bir yöntem olan fotoelastisite yöntemi ile desteklenmesi amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle, labaratuarda araldit malzemesinden yapılmış olan model üzerindeki gerilme dağılımı deneysel yöntem olan fotoelastisite yöntemiyle incelenecek, daha sonra aynı model üzerindeki gerilme dağılımları ANSYS programıyla incelenecektir. Her iki yöntemden elde edilen gerilme dağılımları karşılaştırılacak ve bu dağılımların birbirleriyle olan benzerliği ortaya konulmaya çalışılacaktır. Yapılan literatür araştırmasında; Xu, Sengupta ve Kuai'nin Homalite-100 polimer malzemesinden yapılan modelin yüzeyine etki eden gerilme dağılımlarını hem fotoelastisite yöntemine göre hem de ticari sonlu eleman analiz yazılım programı olan ANSYS'e göre incelemiş ve iki yöntemden elde edilen gerilme dağılımlarının benzerliğini ortaya koymaya çalışmışlardır [7].

Daha sonraki aşamada gerçek boyutlu bir geminin, bir bloğu ele alınacak ve sistematik olarak belirli tülani sayıları için aynı desteklenmeyen boy/braket boyu oranları kullanılarak braket boyları ve stringer sayısı değiştirilecek, bu değişimlerin posta ve kemerelerin birleştiği noktalardaki ankastrelik orana (c) etkisi incelenecektir. Elde edilecek olan ankastrelik oranlar teorik yöntem olan üç moment yönteminden yararlanılarak kemereler için minimum kesit modülü ifadesi içine konulmaya ve bir kesit modülü formülasyonu oluşturulmaya çalışılacaktır. Bulunan değer Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre bulunacak olan mukavemet momenti değeri ile karşılaştırılacaktır. Böylece normal kemereler için bazı formülasyonlar ve değerler önerilmeye çalışılacaktır.

2. YAPISAL ANALİZ

Düzlem elastisite problemlerinin çözümünde kullanılan yöntemleri genel olarak üç grupta toplayabiliriz. Bunlar:

1. Teorik Yöntemler
2. Yaklaşık Sayısal (Nümerik) Yöntemler
3. Deneysel Yöntemler.

Bu çalışmada; yapısal analiz, deneysel ve numerik yöntemler kullanılarak yapılacaktır. Deneysel yöntem olarak fotoelastisite yöntemi, nümerik yöntem olarak ta sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS paket programı kullanılacaktır.

2.1 Fotoelastisite Yöntemi

Fotoelastisite yöntemi deneysel bir yöntemdir. Araldit gibi fotoelastik özellik taşıyan malzemelerden yapılan modeller üzerindeki gerilme dağılımları bu yöntemle görülebilmektedir. Ayrıca malzemeye etki eden gerilme değerlerinin de hesaplanmasını sağlar.

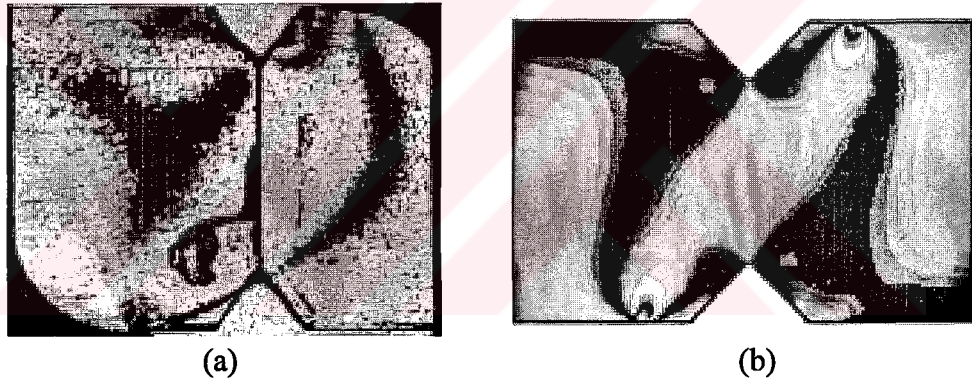
Fotoelastisite, yüklendiği zaman yüzeyinde saçaklar oluşan araldit gibi malzemelerde yapılan gerilme analizinin optik bir metodudur [8]. Araldit, polimer gibi malzemelere uygulanan deformasyonun yoğunluğuna bağlı olarak malzemelerin optik özellikleri biraz değişmektedir.

Fotoelastisite genellikle teorik yöntemin matematiksel güçlükler nedeniyle uygulanamadığı ya da teorik çözümü olanaksız olan düzgün olmayan şekilli yapıların gerilme dağılımlarını elde etmek için kullanılmaktadır.

Fotoelastisite yönteminin uygulanabilmesi için malzemenin fotoelastik özellik taşıyan sentetik bir malzeme olması gerekmektedir. Araldit böyle bir malzemedir.

Makinelerin oluşturduğu problemlerde, kötü işçilik veya metalurjik kusurlar çok büyük rol oynamaz. Makinelerde görülen problemlerin büyük çoğunluğunun nedeni yanlış dizayndır. Dizayn yapılırken genellikle ortalama veya lineer gerilmeler dikkate alınır. Gerçek gerilme dağılımları ihmal edilir. Bu, büyük bir hatadır. Çünkü, gerilme yığılımları gözden kaçabilir. Gerilme yığılımlarının yüksek olduğu bölgelere y k geldiğinde orada kırılmalar veya kopmalar olabilir [9]. Dolayısıyla, malzeme üzerine etki eden gerilme dağılımlarını gözlemlemek çok önemlidir.

Yapılan bazı çalışmalarda fotoelastisite yönteminden elde edilen gerilme dağılımları, nümerik yöntemlerden elde edilen gerilme dağılımlarıyla karşılaştırılmıştır. Bölüm 1’de Xu, Sengupta ve Kuai’nin böyle bir çalışma yaptıklarından bahsedilmişti. Yaptıkları bu çalışmada, deneysel yöntem olan fotoelastisite yönteminden ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan ANSYS paket programından elde ettikleri gerilme dağılımları aşağıdaki gibidir:



şekil 2.1 Fotoelastisite Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımı ile Sonlu Elemanlar Yönteminden (ANSYS) Elde Edilen Gerilme Dağılımları

şekil 2.1 (a)’da, fotoelastisite yönteminden elde edilen gerilme dağılımı, şekil 2.1 (b)’de ise ANSYS’den elde edilen gerilme dağılımı görülmektedir. Kullanılan malzeme optik özelliklere sahip bir malzeme olduğu için yükün model üzerinde oluşturduğu gerilme dağılımları şekil 2.1 (a)’dan rahatlıkla görülebilmektedir.

Araldit, polimer gibi malzemelerden hazırlanan modeller üzerine uygulanan yüklerin meydana getirdikleri gerilme dağılımlarını gözlemleyebilmek için fotoelastisite cihazına ihtiyaç vardır. Fotoelastisite cihazı, ana hatlarıyla bir ışık kaynağı, polarizat r levhası, analizatör levhası ve görüntünün yansıtıldığı bir

perdeden oluşmaktadır. Polarizatör levhası, ışık kaynağı ile model arasına konan bir levhadır. Analizatör levhası ise, polarizatör levhasıyla aynı özelliklere sahiptir. Ancak, 90 derece döndürülmüş bir şekilde yerine yerleştirilir. Her iki levha da ışık kaynağından düzleme dik olarak gelen ışınları geçirir ve görüntü bir perdeye yansıtılır. Perdeye yansıyan bu görüntüler, yükün model üzerinde meydana getirdiği gerilme dağılımlarını göstermektedir. Dijital fotoğraf makinesi gibi cihazlar kullanılarak, fotoelastisite cihazının perdesine yansıyan bu gerilme dağılımlarının resimleri çekilebilmektedir.

2.1.1 Modelin Hazırlanması

Model hazırlanırken çok dikkatli olmak gerekir. Bunun için aşağıdaki hususlara uyulması gerekmektedir:

1. Modeli yapmak için seçilen levhada ön gerilme olmamasına dikkat edilmelidir.
2. Modelin aynısı 0.5 cm daha geniş olarak alüminyumdan kesilir. Araldit bu şablona yapıştırılıp bir kılavuz yardımıyla çok yüksek devirli bir freze (36000 dev/dak) yardımıyla kesilir. Devir az olursa kesilen yerlerde artık gerilmeler oluşur.
3. Model hemen kullanılmalıdır.
4. Teorik mesnetleme ve yükleme şartları titizlikle gerçekleştirilmelidir [10].

2.2 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu elemanlar metodu, hemen hemen her alanda karşılaşılabilen mühendislik problemlerinin nümerik çözümü için güçlü bir yardımcıdır. Sonlu elemanlar uygulamaları; otomotiv, uçak, bina ve köprü yapılarından; ısı akışı, akışkan akışı, manyetik akış, sızıntı ve diğer akış problemlerine kadar çok geniş bir alanda yapılmaktadır. Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler ve CAD sistemleriyle birlikte, kompleks problemler eskisine göre daha kolay bir şekilde modellenabilir duruma gelmiştir. Sonlu elemanlar metodunda, sürekli kompleks bir bölge, sonlu elemanlar olarak tanımlanan basit geometrik şekillere bölünür. Malzeme özellikleri ve

bağlantılar, bu elemanlar üzerine addedilir ve eleman köşelerinde bilinmeyen değerler cinsinden ifade edilir. Yükleme ve sınır koşullarını uygun şekilde dikkate alarak yapılan montaj veya birleştirme prosesi beraberinde bir denklem seti oluşturur. Bu denklemlerin çözümü bize sürekli bölgenin yaklaşık olarak davranışını verir [11].

1990'ların başına kadar sonlu elemanlar metodu numerik yaklaşımları nadiren kullanılırdı. Son zamanlarda, analitik metoddaki ilerleme nispeten yavaşken, bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme büyük ölçekli bir sonlu elemanlar analizini uygulanabilir bir hale getirmiştir. Sonlu elemanlar analizi, uygun maliyetteki nümerik deneyler olarak dikkate alınmaktadır. Gemi yapılarıyla ilgili büyük ölçekli fiziksel deneylerin parametrik olarak yapılabilmesi genellikle çok pahalıdır veya risklidir [12].

Sonlu elemanlar metodu matematikçilerden ziyade daha çok mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Metod, ilk olarak gerilme analizi problemlerine uygulanmıştır. Tüm bu uygulamalarda bir büyüklük alanının hesaplanması istenmektedir. Gerilme analizinde bu değer deplasman alanı veya gerilme alanı; ısı analizinde sıcaklık alanı; akışkan problemlerinde ise akım fonksiyonu veya hız potansiyel fonksiyonudur [3].

Sonlu elemanlar metodunda yapı, davranışı daha önce belirlenmiş olan birçok elemana bölünür. Elemanlar “nod” adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde cebrik bir denklem takımı elde edilir. Gerilme analizinde bu denklemler nodlardaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır [3].

Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın nodlarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir. Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi)

kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi,

$$[K] \cdot [D] = [R]$$

şeklindedir. Burada [D] büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör, [R] bilinen yük vektörü ve [K] ise bilinen sabitler matrisidir. Gerilme analizinde [K] rijitlik matrisi olarak bilinmektedir [3].

Son 30 yıldır, geleneksel gemilerden farklı olarak gemilerin boyutlarında ve tiplerinde önemli değişimler olmuştur. Özellikle, konteyner gemileri yapıldığında ve kuru yük gemilerinin boyutları önemli oranda arttığında, yapısal kusurlar ve kazalar daha büyük olmuştur. Önceleri dizayn aşamasında, bu tür kusurları veya kazaları önceden tasarlamak için dizaynı yapacak olan kişilerin deneyim ve tecrübeleri yoktu. Gemilerin yapısal dizaynı, tecrübe ve ampirik çalışmalara dayalı olarak formüle edilen kurallara dayanmaktadır. Gemilerin boyutları 1970'lerde artmaya başladığı zaman, tasarımcıya ilk basamaklar için yol gösterecek belirli kurallar yoktu. Sonlu elemanlar metodu, o zamandan beri, gemi yapılarının analizi ve dizaynı için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Kusurları önleyebilmek için üç boyutlu sonlu elemanlar analizine dayalı olarak detaylı bir analizin yapılması gerekmektedir [13].

ANSYS, sonlu elemanlar yöntemini kullanan bir paket programdır. Sonlu eleman programları; bilgisayar destekli analiz ve dizayn için ileri yazılım sistemleriyle entegre edilmiştir [14]. ANSYS programı da bünyesinde ileri yazılım sistemine sahiptir. Sonlu elemanlar metodu, mühendislikte mevcut olan en güçlü analiz araçlarından biridir [15]. Sonlu elemanlar metodu, yapıların dizaynına girdiğinden beri, lineer elastik analizler rutin olarak yapılabilir duruma gelmiştir. Cisimler büyük yerdeğiştirmelere ve plastik deformasyonlara uğradığında, sonlu eleman analizleri kullanılmaktadır. Sonlu eleman analizleri hem geometrik hem de malzemeyle ilgili lineer olmayan özellikleri sunan programları kullanmaktadır [16]. Özellikle ANSYS gibi paket programların çıkarılması analizlerin kısa sürede bitirilmesini sağlamıştır. Bu yüzden, akademik ilgi, lineer olmayan elastoplastik karışık yapısal analizlere daha çok odaklanmaya başlamıştır [12].

3. DENEYSEL VE NÜMERİK ÇALIŞMA

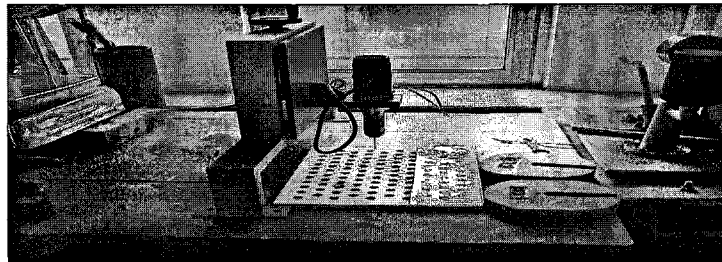
Bu bölümde, öncelikle, hazırlanan model üzerindeki gerilme dağılımları deneysel bir yöntem olan fotoelastisite yöntemiyle incelenecek, daha sonra aynı model üzerindeki gerilme dağılımları nümerik bir yöntem olan sonlu elemanlar yöntemiyle incelendikten sonra her iki yöntemden elde edilen gerilme dağılımları birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

3.1 Fotoelastisite Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımları

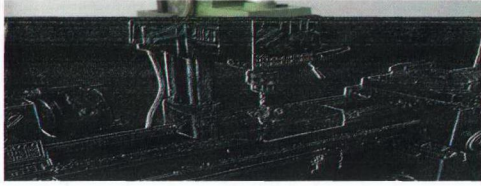
3.1.1 Deneysel Çalışma

Deney, İTÜ Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü Mukavemet Labaratuarında yapılmıştır. Deneyde kullanılan gereçler şunlardır:

- Araldit
- Fotoelastisite cihazı
- Freze
- Torna tezgahı
- 3 mm çaplı uç
- 10 mm çaplı uç
- 5'er kg'lık iki ağırlık
- 8 kg'lık ağırlık
- Ağırlığın asıldığı kanca
- Metal platform



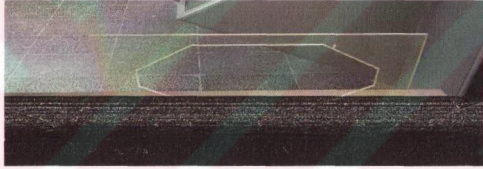
Şekil 3.1 Freze Makinesi



Şekil 3.2 Torna Tezgahı



Şekil 3.3 Fotoelastisite Cihazı



Şekil 3.4 Araldit Model ve Modelin Cihaza Yerleştirilmesi



Şekil 3.5 3 mm Çaplı Uç



Şekil 3.6 10 mm Çaplı Uç



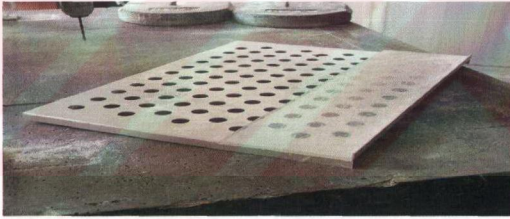
Şekil 3.7 5'er Kg'lık Ağırlıklar



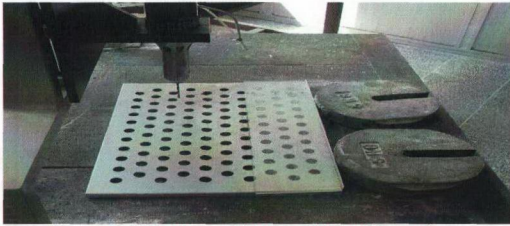
Şekil 3.8 8 Kg'lık Ağırlık



Şekil 3.9 Ağırlığın Asıldığı Kanca



Şekil 3.10 Metal Platform



Şekil 3.11 Metal Platformun Desteklenmesi

Deneydeki modelde kullanılan malzeme araldit olup boyutları 412x330 mm'dir. Yani, 412 mm'lik uzunluğa, 330 mm yüksekliğe sahiptir. Ayrıca 5 mm'lik kalınlığı

vardır (Şekil 3.4). Araldit saydam bir malzeme olduğu için gerilme dağılımları çok açık bir şekilde görülebilmektedir. Model frezede kesilmiştir ve frezede kullanılan uç 3 mm'lik çap değerine sahiptir (Şekil 3.5). Bununla birlikte model, metal bir platformun (Şekil 3.10) üzerine konulmuş, kaymayı önlemek için bu platform yanlardan 5'er kg'lık iki adet ağırlıkla (Şekil 3.7) desteklenmiştir. Platformun kaymasını önlemek için ağırlıklarla nasıl desteklendiği (Şekil 3.11)'de gösterilmektedir.

Kesme işlemine başlamadan önce frezeyle model üzerine bir delik açılmış, daha sonra model belirlenen yönde kaydırılarak kesimi yapılmıştır. Bu işlemler sırasında 4 adet uç kırılmıştır. Kırılma nedenlerinden biri, malzemenin kalınlığının frezede kullanılan ucun kalınlığından fazla oluşudur. 3 mm'lik uca yapılan basınç neticesinde uç kırılmıştır. Diğer bir neden ise, sürtünme nedeniyle meydana gelen ısınmadır. Frezede kullanılan ucun ısınmasıyla birlikte ucun sertliği azalmakta dolayısıyla kesim işlemi sırasında uca gelen basınca karşı direnci de o ölçüde azalmaktadır. Yaşanan bu problemlerin neticesinde daha sağlam bir uç alınmış ve kesim işi ısınmayı önlemek için daha yavaş yapılmıştır. Bununla birlikte freze 15 sn çalışma süreleri sonrası durdurulmuş ve 60 sn kadar süreyle soğumaya bırakılmıştır. Yani 15 sn'lik çalışma sürelerinin ardından 60 sn süresince uç soğumaya bırakılmıştır.

Araldit frezede kesildikten sonra torna tezgahına (Şekil 3.2) götürülmüş ve alt kısmına (çift dip) 10 mm çapında delikler açılmıştır. Bu delikler torna tezgahında delik açmada kullanılan 10 mm çaplı uçla açılmıştır (Şekil 3.6). Böylelikle modelin fotoelastisite cihazına bağlantısı için gerekli açıklıklar elde edilmiştir.

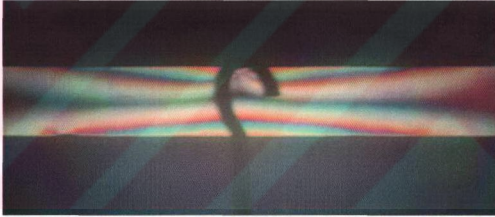
Model, daha sonra fotoelastisite cihazına yerleştirilerek mesnetlemesi yapılmıştır. Mesnetleme işlemi, modelin alt kısmına (çift dip) açılan deliklere civata yerleştirilmesi ve civataların sıkılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Şekil 3.4'e bakıldığında modelin alt kısmının civatalarla sıkıldığını ve dolayısıyla modelin sabitlendiği görülmektedir. Civataların olduğu bölüm ankastre mesnet görevi yapmaktadır. Böylelikle modelin alt kısmında (çift dipte) ankastre etkisi yaratılmaya çalışılmıştır. Sonraki aşamada, modele 8 kg'lık=80 N (Şekil 3.8) bir tekil yük

uygulanmıştır. 8 kg'lık yk öncelikle kancaya (şekil 3.9) asılmıştır. Daha sonra kancaya takılan yükler modele asılmıştır (şekil 3.12). Bu yükün model üzerinde meydana getirdiği gerilme dağıllımları fotoelastisite cihazının perdesinden gözlenmiş ve resimleri alınmıştır.

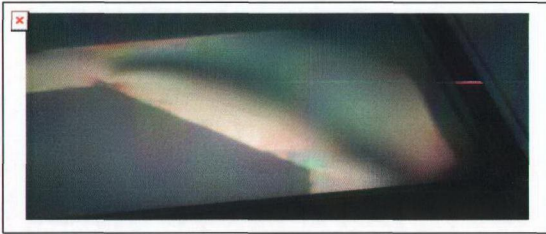


şekil 3.12 Ağırlığın Modele Asılması

Fotoelastisite cihazına yerleştirilen modele tekil yük uygulandığında aşağıdaki gibi bir gerilme dağıllımı elde edilmiştir.



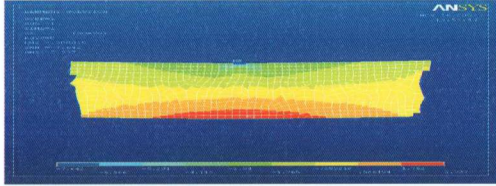
şekil 3.13 Kemeredeki Gerilme Dağıllımı



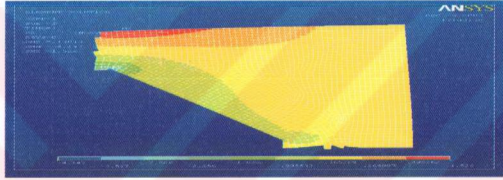
şekil 3.14 Braketteki Gerilme Dağıllımı

3.2 Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımları

Fotoelastisite cihazına yerleştirilen araldit malzemeden yapılmış olan modelin aynısı sonlu elemanlar programında (ANSYS) modellenmiş ve aşağıdaki gibi gerilme dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 3.15 Kemerdeki Gerilme Dağılımı (ANSYS)



Şekil 3.16 Braketeki Gerilme Dağılımı (ANSYS)

3.3 Fotoelastisite Yöntemi İle Sonlu Elemanlar Yönteminden Elde Edilen Gerilme Dağılımlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada; ANSYS sonlu elemanlar paket programı kullanılmıştır. Fotoelastisite yöntemi ile sonlu elemanlar programından elde edilecek olan gerilme dağılımlarının karşılaştırılmasındaki amaç, sonlu elemanlar paket programından (ANSYS) elde edilecek olan gerilme dağılımının doğruluğunu göstermektedir. Fotoelastisite Yöntemi deneysel bir yöntemdir. Dolayısıyla, sonlu elemanlar yönteminden elde edilen gerilme dağılımlarının doğruluğunu göstermede bir referans teşkil edecektir. Yukarıdaki şekillere bakıldığında Fotoelastisite Yönteminden elde edilen gerilme dağılımlarıyla Sonlu Elemanlar Yönteminden elde edilen gerilme dağılımlarının birbirine benzediği görülebilmektedir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.15'e bakıldığında kemereledeki gerilme dağılımlarının benzer olduğu; yine aynı şekilde Şekil 3.14 ve Şekil 3.16'den braketlerdeki gerilme dağılımlarının birbirine benzediği rahatlıkla görülebilmektedir.

4. YAPISAL MODEL VE NÜMERİK ANALİZ

Bu bölümde, sonlu elemanlar paket programı (ANSYS) yardımıyla numerik bir çalışma yapılacaktır. Buradaki amaç, model üzerinde yapılacak olan bazı yapısal değişikliklerin, posta ve kemerelerin birleştiği noktalardaki ankastrelik oranı (c) nasıl etkilediğini incelemek, bulunan ankastrelik oranlarla kemerenin kesit modülünü belirlemek ve belirlenen kesit modülü değerini Loyd Kural kitaplarında kemere için verilen minimum kesit modülü formülasyonundan hesaplanan değerle karşılaştırmaktır.

Burada, gerçek bir kuru yük gemisine ait olan boyutlar alınmıştır. Kemere, tulani, braket, posta, stringer gibi yapı elemanları model üzerine yerleştirilmiştir. Bununla birlikte güverte ve borda saçları da yapıya eklenmiştir. Geminin bir bloğu dikkate alınmıştır. Blok, 11 çerçeveden oluşmaktadır. Bu çerçevelerden 2 tanesi derin eleman, 9 tanesi ise normal elemandır. İncelenecek olan her bir modelde; 18 adet normal posta, 4 adet derin posta, 9 adet normal kemere, 2 adet derin kemere, 22 adet braket, güverte sacı ve borda sacı kullanılmıştır. Ana boyutları verilen geminin yapı elemanlarının boyutları Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre belirlenmiştir. Boyutları bulunan yapı elemanları ANSYS programında modellenmiştir. Blok, dip kısımlarından (postaların zemine bağlandığı yer) ankastre olarak tutturulmuştur. Posta ile çift dibin bağlandığı nokta, posta için ankastre mesnet olarak kabul edilmektedir. Çünkü, çift dibin mukavemet momenti postanın mukavemet momentine göre çok büyüktür. Bu yüzden bağlantı noktası posta için ankastre mesnet olarak kabul edilmekte ve ANSYS’de bu şekilde modellenmektedir. Blok, ANSYS programında modellendikten sonra modele dizayn yükü uygulanacaktır. Güverte sacı üzerine Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre bulunan güverte basıncı uygulanacaktır. Güverte dizayn yüküne göre, kemere-posta birleşimi noktalarında meydana gelen eğilme momenti değerleri incelenecektir. Öncelikle, kemerenin enine postaya bağlandığı nokta kemere için ankastre olarak tutulacak ve bu durumda güverte basıncının kemere-posta birleşimi

noktalarında meydana getirdiği eğilme momenti değerleri okunacaktır. Bu moment değerleri, ankastrelik moment değerleri olarak ele alınacaktır. Daha sonra, kemere-posta birleşimi noktalarından ankastrelik moment şartı ortadan kaldırılacak ve bu durumda güverte basıncının kemere-posta birleşimi noktalarında meydana getirdiği eğilme momenti değerleri okunacaktır. Eğilme Momenti/Ankastrelik Moment oranı c katsayısı (ankastrelik oranı) ile ifade edilecektir. Burada bulunan c katsayısını kullanarak kemere için bir kesit modülü (W) formülasyonu oluşturulmaya çalışılacaktır. Ayrıca, kemere için Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre verilen formülasyondan kemerenin kesit modülü (W) hesaplanacaktır. Bulunan bu değerler birbirleriyle karşılaştırılarak, birbirlerine ne kadar yakın oldukları incelenecektir ve kemere için bir kesit modülü formülasyonu önerilmeye çalışılacaktır. Bununla birlikte c katsayısının, incelenen blok boyunca değişimini incelemek amaçlanmaktadır.

4.1 Geminin Boyutları ve Kullanılan Yapı Elemanlarının Özellikleri

Geminin boyutları aşağıdaki gibi alınmıştır:

$L_{pp} = 62m$	(Kaideler arası boy)	$H = 6,02m$	(Yükseklik)
$L_{WL} = 67,58m$	(Su hattı boyu)	$C_B = 0,68$	(Blok katsayısı)
$B = 12,4m$	(Genişlik)	$a = 650mm$	(Postalar arası mesafe)
$T = 4,96m$	(Draft)	$V_O = 14knot$	(Servis hızı)

Yukarıda boyutları verilen gemi enine sistemde inşa edilmiş bir kuru yük gemisidir. Bu boyutlar kullanılarak, Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre yapı elemanlarının boyutları hesaplanmıştır. Hesaplanan minimum mukavemet momenti değerleri verilmiştir:

Tablo 4.1 Yapı Elemanlarının Mukavemet Momenti Değerleri

YAPI ELEMANI	MUKAVEMET MOMENTİ (W)
Kemere (1 adet tülani)	$253cm^3$ (30x190)
Derin Kemere (1 adet tülani)	$810cm^3$ (40x310)
Kemere (2 adet tülani)	$113cm^3$ (30x120)
Derin Kemere (2 adet tülani)	$360cm^3$ (40x200)
Kemere (3 adet tülani)	$64cm^3$ (30x85)
Derin Kemere (3 adet tülani)	$203cm^3$ (40x150)
Posta (Stringersiz)	$334cm^3$ (30x200)
Derin Posta (Stringersiz)	$1185cm^3$ (40x360)
Posta (1 stringer)	$109cm^3$ (20x140)
Derin Posta (1 stringer)	$392cm^3$ (20x270)
Posta (2 stringer)	$47cm^3$ (20x85)
Derin posta (2 stringer)	$189cm^3$ (20x180)
Posta (3 stringer)	$25cm^3$ (20x60)
Derin Posta (3 stringer)	$110cm^3$ (20x130)
Stringer (1 adet)	$302cm^3$ (30x250)
Stringer (2 adet)	$158cm^3, 245cm^3$ (20x220) (20x275)
Stringer (3 adet)	$102cm^3, 150cm^3, 200cm^3$ (20x180)(20x220)(20x250)

Burada profil olarak I profili seçilmiştir.

4.2 Model Üzerinde Yapılacak Yapısal Değişiklikler

Bu çalışmada yapısal model üzerinde çeşitli çalışmalar yapılarak parametrik bir çalışma yapılacaktır. İlk olarak, 1 tülaniden oluşan blokta braket boyları değiştirilecek, daha sonra sırasıyla 2 ve 3 tülaniden oluşan bloklar için braket boyları değiştirilerek ankastrelik oran değerleri belirlenecektir. Tülani sayısının değişmesi, kemerenin desteklenmeyen boyunu da değiştireceği için kemerelerin kesit modülleri de değişecektir. Desteklenmeyen boy küçüldükçe kemerenin kesit modülü küçülecek, desteklenmeyen boy büyüdükçe kemerenin kesit modülü büyüyecektir. Dolayısıyla tülani sayısının artması desteklenmeyen boyu küçülteceği için kemerenin minimum kesit modülünü de küçültecektir. 1 tülaniden oluşan blokta hesaplanan desteklenmeyen boy/braket boyu oranları sistemlerdeki benzerliği sağlamak için, 2 ve 3 tülaniden oluşan bloklar için de geçerli olacaktır. Bu değişikliklerde aynı desteklenmeyen boy/braket boyu oranları kullanılacaktır.

Model üzerinde yapılacak yapısal değişiklikler sırasıyla şöyledir:

- 1- Blokta öncelikle 1 tülani kullanılacaktır. Braket boyları değiştirilerek ankastrelik oranın (c) değişimi incelenecektir. Kullanılan braket boyları sırasıyla 600 mm, 800 mm, 1000 mm, 1200 mm ve 1400 mm'dir. Bu yapı için desteklenmeyen boy/braket boyu oranları hesaplanmıştır.
- 2- Blokta 2 tülani kullanılacaktır. Braket boyları, 1. maddedeki yapı için belirlenen desteklenmeyen boy/braket boyu oranları kullanılarak hesaplanacaktır.
- 3- Blokta 3 tülani kullanılacaktır. Yine aynı şekilde braket boyları, 1. maddedeki yapı için belirlenen desteklenmeyen boy/braket boyu oranları kullanılarak hesaplanacaktır.
- 4- 1 tülaniye sahip olan blokta stringer sayısı değiştirilecek ve ankastrelik orana (c) etkisi incelenecektir.
- 5- 2 tülaniye sahip olan blokta stringer sayısı değiştirilecek ve ankastrelik orana (c) etkisi incelenecektir.
- 6- 3 tülaniye sahip olan blokta stringer sayısı değiştirilecek ve ankastrelik orana (c) etkisi incelenecektir.

4.3 ANSYS ile Modelleme

Bu alışmada, ANSYS 6.0 INTEL NT versiyonu kullanılmıştır. Türk Loydu elik Tekne Klaslama Kurallarına göre kesit modülleri hesaplanan yapı elemanlarının boyutları bire bir ölçekte ANSYS paket programına girilmiştir. Daha sonra yapı elemanları Mesh yapılmak suretiyle elemanlara bölünmüştür. Böylelikle model oluşturulmuştur.

Sınır koşulları olarak, postanın çift dibe bağlandığı noktalar ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Tüm sistem özölüp, postalar ile kemerelerin birleştiği noktalardaki eğilme momenti değerleri hesaplandıktan sonra, ankastrelik oranının bulunabilmesi için, aynı noktalardaki ankastrelik moment değerleri bulunmuştur. Ankastrelik moment değerleri, posta ile kemerelerin birleştiği noktaların ankastre mesnet alınmasıyla birlikte hesaplanmıştır.

Model oluşturulup sınır koşulları uygulandıktan sonra, yine Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre hesaplanan güverte dizayn yükü modele uygulanmıştır. Borda basıncı dikkate alınmamıştır. Böylelikle sadece güverte basıncının etkisi incelenmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi programı kullanılarak yapılan modellemelerdeki genel kabuller şunlardır:

- 1- Yapı elemanlarının yüzeyleri pürüzsüzdür.
- 2- Birleşme yüzeylerinin hepsi pürüzsüzdür.
- 3- Yapı elemanlarının birbirlerine bağlandığı bölgelerde bağlantılar tam olarak gerçekleşmektedir.

Bu çalışmada oluşturulan model için yapılan kabuller şunlardır:

- 1- Güverte üzerine gelen güverte basıncı üniform olarak dağılmıştır.
- 2- Postanın çift dibe bağlandığı nokta ankastre mesnet olarak kabul edilmektedir.
- 3- Modelde borda basıncı dikkate alınmamıştır.
- 4- Tülaniler perdelerden sonra devam etmektedir.

ANSYS ile modelleme yaparken izlenecek yol aşağıdaki gibidir:

- 1- Öncelikle programda Preferences komutundan Structural seçeneği işaretlenir. Böylece sadece yapıyla ilgili komutlar görülür.
- 2- Preprocessor komutu seçilir. Bu komut içerisinde eleman tipi (Element Type), boyutlar (Real Constant) ve malzeme özellikleri (Material Properties) seçenekleri vardır. Önce eleman tipi seçilir daha sonra elemanın veya elemanların boyutları girilir. Son olarak ta malzeme özellikleri (Yapıda kullanılan malzeme) girilir.
- 3- Yine preprocessor komutundan Modeling>Create seçeneği tercih edilip model boyutlandırılır.
- 4- Preprocessor komutundan Meshing seçeneği seçilir ve model Mesh'lenir.
- 5- Solution komutundan Apply seçeneği tercih edilir ve sınır koşulları ile yükler girilir. Solve-Current LS komutundan sistemin çözümü yapılır.
- 6- Son olarak General Postprocessor komutuna basılarak çözüm değerleri okunur.

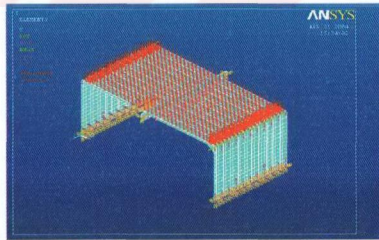
Bu çalışmada, sonlu elemanlar modelini oluşturmak için iki farklı eleman tipi (SHELL 63 ve BEAM 44) kullanılmıştır. SHELL 63 model içinde, geminin borda ve güverte saç kaplamalarını, BEAM 44 ise tülani, stringer, kemere, derin kemere, posta, derin posta gibi yapı elemanlarını modellemekte kullanılmıştır.

Bu çalışmada, model üzerine uygulanan güverte basıncı Türk Loydu Çelik Tekne Klaslama Kurallarına göre hesaplanmış ve model üzerine uygulanmıştır. Güverte basıncı değeri $0,0245 N/mm^2$ 'dir (Türk Loydu'na göre).

Malzeme olarak St 42 çeliği ele alınmıştır. ANSYS programında St 42 çeliğinin özellikleri (Poisson Oranı=0,3 ve Elastisite Modülü= $2,2 \times 10^5 N/mm^2$) olarak alınmıştır.

4.3.1 Bir Tülani ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

Bu bölümde, Bölüm 3.1'de verilen boyutlara sahip olan geminin 11 çerçveden oluşan bir bloğu incelenecektir. 11 çerçveden oluşan blokta 9 normal 2 de derin eleman bulunmaktadır. Bir çerçeve 2 posta, 1 adet kemere ve 2 adet braketten oluşmaktadır. Ayrıca boydan boya uzanan bir tulanı bulunmaktadır. Blok ANSYS'de modellenerek aşağıdaki gibi bir blok elde edilmiştir. Bloğun gösterimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.1 Bir Tülani ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Yukarıdaki şekle dikkat edilirse tulanilerin uç kısımlarının ankastre alındığı görülebilmektedir. Bunun nedeni tulanilerin perdelerden sonra devam ettiği şeklinde yapılan kabuldür. Ayrıca, postaların çift dipile bağlandığı kısımlar ankastre mesnet

olarak kabul edilmektedir. Çünkü çift dip, postalara göre daha rijit bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı bağlantı kısımları ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir.

Şekil 4.1’de verilen konstrüksiyon için ilk olarak braket boyundaki değişimin ankastrelik orana (c_1) etkisi incelenmiştir. Bunun için; 600 mm, 800 mm, 1000 mm, 1200 mm ve 1400 mm’lik braket boyları alınmıştır. Bulunan ankastrelik oranlardan yararlanarak, kemere için bir kesit modülü ifadesi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu oranları yaklaşık olarak hesaplanırsa:

Tablo 4.2 Bir Tülanili Yapı İçin Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranları

Desteklenmeyen Boy	Braket Boyu	Oran (k_1 : Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu)
6200 mm	600 mm	10,33
	800 mm	7,75
	1000 mm	6,2
	1200 mm	5,16
	1400 mm	4,43

Geminin genişliği 12400 mm’dir (Bölüm 3.1). Bu gemi için 1 tülanili sistemde kemerenin desteklenmeyen boyu $12400/2=6200$ mm’dir. Çünkü, tülani kemere için bir mesnet görevi görmektedir. Şekil 4.1’e bakıldığında tülaninin kemerenin tam ortasından geçtiği görülmektedir. Dolayısıyla desteklenmeyen boy gemi genişliğinin yarısı yani 6200 mm olarak alınmaktadır. Verilen braket boylarında, her bir çerçevenin uç noktalarının (kemere ve postanın birleştiği nokta) moment değerleri ANSYS’te güverte yükü altında okunmuş (eğilme momenti), daha sonra uç noktalar ankastre mesnet alınarak ankastrelik moment değerleri okunmuştur. Okunan moment değerleri birbirine oranlanarak ankastrelik moment oranı (c_1) elde edilmiştir. Burada, ankastrelik moment oranı; eğilme momenti/ankastrelik moment oranına eşittir. Aşağıdaki tablolarda, bloğu oluşturan çerçevelerin köşe noktalarına (posta ile kemerelerin birleştiği nokta) etkiyen eğilme momenti ve ankastrelik moment değerleriyle, bu moment değerlerinin birbirlerine oranlanmasıyla elde edilen ankastrelik moment oranları (c_1) değerlerini görmek mümkündür:

4.3.1.1 Bir Tülanı ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun Çeşitli Braket Boylarında Köşe Noktalarına Etki Eden Moment Değerleri ve Ankastrelik Oranları

1 tülaniden oluşan bloкта, Bölüm 3.3.1’de belirtildiği gibi 600 mm, 800 mm, 1000 mm, 1200 mm ve 1400 mm’lik braket boyları kullanılacaktır ve her bir braket boyunda moment değerleri ve ankastrelik moment değerleri belirlenecektir. Kemerinin taşınmayan boyu, tülaninin kemereyi kaç bölüğüyle ilgilidir. Tülani ile kemerelerin birleşim noktaları kemere için mesnet görevi gördüğü kabul edilmektedir. Bir mesnetli sistemde tülani kemereyi ikiye bölüğü için desteklenmeyen veya taşınmayan boy kemere boyunun yarısı olarak alınmıştır.

1- Braket Boyu 600 mm

Tablo 4.3 600 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.18217E8	-0.25987E8	0.701
2	-0.31683E8	-0.44624E8	0.710
3	-0.29859E8	-0.42293E8	0.706
4	-0.54888E8	-0.68015E8	0.807
5	-0.30568E8	-0.43175E8	0.708
6	-0.34036E8	-0.47602E8	0.715
7	-0.30568E8	-0.43175E8	0.708
8	-0.54888E8	-0.68015E8	0.807
9	-0.29859E8	-0.42293E8	0.706
10	-0.31683E8	-0.44624E8	0.710
11	-0.18217E8	-0.25987E8	0.701

2- Braket Boyu 800 mm

Tablo 4.4 800 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.19839E8	-0.27516E8	0.721
2	-0.35148E8	-0.48147E8	0.730
3	-0.33325E8	-0.45902E8	0.726
4	-0.59506E8	-0.71954E8	0.827
5	-0.34065E8	-0.46792E8	0.728
6	-0.37706E8	-0.51300E8	0.735
7	-0.34065E8	-0.46792E8	0.728
8	-0.59506E8	-0.71954E8	0.827
9	-0.33325E8	-0.45902E8	0.726
10	-0.35148E8	-0.48147E8	0.730
11	-0.19839E8	-0.27516E8	0.721

3- Braket Boyu 1000 mm

Tablo 4.5 1000 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.21959E8	-0.30246E8	0.726
2	-0.39345E8	-0.53530E8	0.735
3	-0.37552E8	-0.51370E8	0.731
4	-0.64936E8	-0.78048E8	0.832
5	-0.38355E8	-0.52326E8	0.733
6	-0.42038E8	-0.56808E8	0.740
7	-0.38355E8	-0.52326E8	0.733
8	-0.64936E8	-0.78048E8	0.832
9	-0.37552E8	-0.51370E8	0.731
10	-0.39345E8	-0.53530E8	0.735
11	-0.21959E8	-0.30246E8	0.726

4- Braket Boyu 1200 mm

Tablo 4.6 1200mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

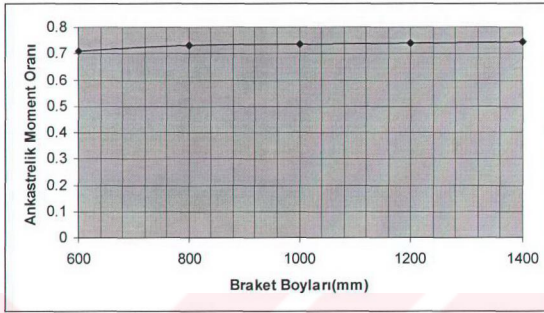
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.23959E8	-0.32775E8	0.731
2	-0.43697E8	-0.59050E8	0.740
3	-0.41956E8	-0.57005E8	0.736
4	-0.70476E8	-0.84200E8	0.837
5	-0.42830E8	-0.58035E8	0.738
6	-0.46511E8	-0.62430E8	0.745
7	-0.42830E8	-0.58035E8	0.738
8	-0.70476E8	-0.84200E8	0.837
9	-0.41956E8	-0.57005E8	0.736
10	-0.43697E8	-0.59050E8	0.740
11	-0.23959E8	-0.32775E8	0.731

5- Braket Boyu 1400 mm

Tablo 4.7 1400 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.25821E8	-0.35082E8	0.736
2	-0.47883E8	-0.64272E8	0.745
3	-0.46220E8	-0.62375E8	0.741
4	-0.76152E8	-0.90441E8	0.842
5	-0.47189E8	-0.63511E8	0.743
6	-0.50774E8	-0.67698E8	0.750
7	-0.47189E8	-0.63511E8	0.743
8	-0.76152E8	-0.90441E8	0.842
9	-0.46220E8	-0.62375E8	0.741
10	-0.47883E8	-0.64272E8	0.745
11	-0.25821E8	-0.35082E8	0.736

Yukarıdaki tablolara bakıldığında ankastrelik moment oranının, braket boyunun artmasıyla birlikte arttığı görülmektedir. Burada, örneğin 2 numaralı çerçeve için bu değişime bakılırsa:

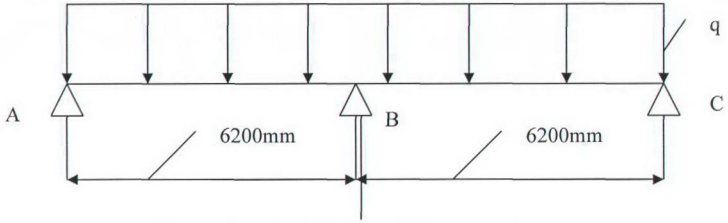


Şekil 4.2 Braket Boyu-Ankastrelik Moment Oranı Değişimi

4.3.1.2 Bir Mesnetli Sistemde Ankastrelik Oranların (c_1) Kullanılmasıyla Kemerelerin Mukavemet Momentlerin Hesaplanması

Aşağıdaki şekilde, bir tülanıden veya mesnetten oluşan, yayılı yük etkisindeki bir kemere görülmektedir. Kemere, A ve C noktalarından kesilerek çerçeveden ayrılmıştır. A ve C noktaları postayla, kemerenin birleştiği noktalardır. Bu noktalar, ankastre mesnet kabul edildiğinde her iki noktalardaki (A ve C noktaları) moment değeri $M_A = M_C = -\frac{qb^2}{12}$ şeklindedir. Bu moment değerlerini c gibi boyutsuz bir

sayıyla çarpılırsa köşe noktalarının gerçek moment değerleri bulunabilir. Burada c, ankastrelik moment oranıdır. Yani, $c_1 = \text{eğilme momenti} / \text{ankastrelik moment}$ değeridir. Dolayısıyla, ankastrelik moment değeri c_1 boyutsuz sayısı ile çarpıldığı zaman, köşe noktalarının gerçek eğilme momenti değerleri bulunabilir. Kemereye etki eden yayılı yük değeri $q = p \cdot a$ şeklinde ifade edilmiştir. Burada p, kemere üzerine etki eden basınç değerini, a ise, postalar arası mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca moment değerleri içerisinde ifade edilen b değeri ise desteklenmeyen boyu göstermektedir. B noktası, tülani ile kemerenin birleşim noktasını ifade eder ve bu nokta kemere için mesnet görevi görür.



Şekil 4.3 Bir Tülanili (Mesnetli) Kemere Sistemi

A ve C noktalarına ankastre mesnet durumunda etki eden moment değerleri şu şekildedir.

$$M_A = M_C = -\frac{qb^2}{12} \quad (4.1)$$

A ve C noktalarına etki eden gerçek eğilme momenti değerleri ise:

$$M_A = M_C = -c_1 \frac{qb^2}{12} \quad (4.2)$$

şeklindedir.

Kemere boyunca 3 moment yöntemi uygulanırsa B noktasına etki eden moment değeri bulunur.

$$M_A = M_C \quad (4.3)$$

$$K_A = K_C = -\frac{q.b^2}{4} \quad (4.4)$$

$$M_A \cdot \frac{b}{I} + 2 \cdot M_B \cdot \left(\frac{b}{I} + \frac{b}{I} \right) + M_C \cdot \frac{b}{I} = -K_A \cdot \frac{b}{I} - K_C \cdot \frac{b}{I} \quad (4.5)$$

$$-\frac{c_1 \cdot q \cdot b^2}{6} \cdot \frac{b}{I} + 4M_B \cdot \frac{b}{I} = -\frac{2qb^2}{4} \cdot \frac{b}{I} \quad (4.6)$$

$$M_B = (c_1 - 3) \cdot \frac{qb^2}{24} \quad (4.7)$$

$$M_A = M_C = -\frac{c_1 qb^2}{12} \quad (4.8)$$

A ve B noktaları arasına etki eden moment ifadesi:

$$M_1 = M_A + \left(\frac{M_B - M_A}{b} \right) x \quad (4.9)$$

$$M_2 = \frac{qb}{2} x - \frac{qx^2}{2} \quad (4.10)$$

Toplam Moment:

$$M_m = M_A + \left(\frac{M_B - M_A}{b} \right) x + \frac{qb}{2} x - \frac{qx^2}{2} \quad (4.11)$$

$$M_m = -\frac{c_1 qb^2}{12} + \frac{x}{b} \left((c_1 - 3) \frac{qb^2}{24} + \frac{c_1 qb^2}{12} \right) + \frac{qb}{2} x - \frac{qx^2}{2} \quad (4.12)$$

$x=b$ konulursa:

$$M_{\max} = (c_1 - 3) \frac{qb^2}{24} = (c_1 - 3) a.p \frac{l^2}{96} \quad (4.13)$$

$$W_{\min} = \frac{M_{\max}}{\sigma} = \frac{1000.(c_1 - 3)}{24.\sigma} . a.p.b^2 = \frac{1000.(c_1 - 3)}{24.166,6} . a.p.b^2 . k \quad (4.14)$$

$$W_{\min} = 0,25.(c_1 - 3).a.p.b^2.k \quad (4.15)$$

- Bir Mesnetli Sistemde Belirli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu

Oranlarında Kemerelerin Mukavemet Momentlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, bir mesnetten oluşan sistem için çeşitli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında sistemi oluşturan normal kemerelerin mukavemet momentleri hesaplanacaktır. Bunun için, normal kemereler için Bölüm 4.3.1.2'de bulunan ifade kullanılacaktır ($W_{\min 1} = 0,25.(c_1 - 3).a.p.b^2.k$). Bu ifadeden hesaplanan mukavemet momenti değerleri, Türk Loydunda verilen $W_{\min 2} = 0,55.a.p.l^2.k$ ifadesinden hesaplanan mukavemet momenti değerleriyle karşılaştırılacaktır. Ayrıca, Türk Loydunda normal kemereler için verilmiş olan minimum mukavemet momenti formülasyonunun ilk ifadesini oluşturan 0,55 sabit sayısının yerine başka bir sabit sayının önerilmesine çalışılacaktır. Burada kullanılacak olan

Katsayı1=0,25.($c_1 - 3$) ifadesi önerilecek katsayıyı, Katsayı2=0,55 ifadesi ise Türk Loydunun önerdiği sabit sayıyı göstermektedir. C_1 ifadesi, ankastrelik moment oranını ifade etmektedir. Aşağıdaki tablolarda desteklenmeyen boy/braket boyu oranı k ile gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-W_{min1}-W_{min2} Değerleri ($k_1=10,33$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0,701	0,574	0,55	264	253
2	0,710	0,572	0,55	264	253
3	0,706	0,573	0,55	264	253
4	0,807	-	-	-	-
5	0,708	0,573	0,55	264	253
6	0,715	0,571	0,55	263	253
7	0,708	0,573	0,55	264	253
8	0,807	-	-	-	-
9	0,706	0,573	0,55	264	253
10	0,710	0,572	0,55	264	253
11	0,701	0,574	0,55	264	253

Tablo 4.9 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-W_{min1}-W_{min2} Değerleri ($k_1=7,75$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0,721	0,569	0,55	262	253
2	0,730	0,567	0,55	261	253
3	0,726	0,568	0,55	262	253
4	0,827	-	-	-	-
5	0,728	0,568	0,55	262	253
6	0,735	0,566	0,55	261	253
7	0,728	0,568	0,55	262	253
8	0,827	-	-	-	-
9	0,726	0,568	0,55	262	253
10	0,730	0,567	0,55	261	253
11	0,721	0,569	0,55	262	253

Tablo 4.10 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-W_{min1}-W_{min2} Değerleri ($k_1=6,2$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0,726	0,568	0,55	262	253
2	0,735	0,566	0,55	261	253
3	0,731	0,567	0,55	261	253
4	0,832	-	-	-	-
5	0,733	0,566	0,55	261	253
6	0,740	0,565	0,55	260	253
7	0,733	0,566	0,55	261	253
8	0,832	-	-	-	-
9	0,731	0,567	0,55	261	253
10	0,735	0,566	0,55	261	253
11	0,726	0,568	0,55	262	253

Tablo 4.11 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=5,16$)

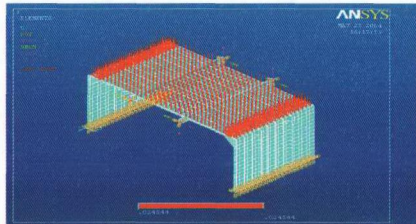
Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W_{min1}	W_{min2}
1	0,731	0,567	0,55	261	253
2	0,740	0,565	0,55	260	253
3	0,736	0,566	0,55	261	253
4	0,837	-	-	-	-
5	0,738	0,565	0,55	260	253
6	0,745	0,563	0,55	259	253
7	0,738	0,565	0,55	260	253
8	0,837	-	-	-	-
9	0,736	0,566	0,55	261	253
10	0,740	0,565	0,55	260	253
11	0,731	0,567	0,55	261	253

Tablo 4.12 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=4,43$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W_{min1}	W_{min2}
1	0,736	0,566	0,55	261	253
2	0,745	0,563	0,55	259	253
3	0,741	0,564	0,55	260	253
4	0,842	-	-	-	-
5	0,743	0,564	0,55	260	253
6	0,750	0,562	0,55	259	253
7	0,743	0,564	0,55	260	253
8	0,842	-	-	-	-
9	0,741	0,564	0,55	260	253
10	0,745	0,563	0,55	259	253
11	0,736	0,566	0,55	261	253

4.3.2 İki Tülanı ve 11 Çerçeveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

Bu bölümde yine 11 çerçeveden oluşan bir blok incelenecektir. 11 çerçeveden oluşan blokta 9 normal 2 de derin eleman bulunmaktadır. Bir çerçeve 2 posta, 1 adet kemere ve 2 adet braketten oluşmaktadır. Bununla birlikte boydan boya uzanan 2 tülanı bulunmaktadır. Bloğun gösterimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.4 İki Tülanı ve 11 Çerçeveden Oluşan Blok

Yukarıdaki şekle bakıldığında tulanilerin uç kısımlarının tıpkı 1 mesnetli sistemde olduğu gibi ankastre alındığı görülebilmektedir. Bunun nedeni tulanilerin perdelerden sonra devam ettiği şeklinde yapılan kabuldür. Bununla birlikte çift dibin postalarla bağlandığı kısımlar yine ankastre mesnet olarak kabul edilmektedir. Çünkü çift dip, postalara göre daha rijit bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı bağlantı kısımları ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir.

Burada; 400 mm, 533 mm, 667 mm, 800 mm ve 933 mm'lik braket boyları alınmıştır. 1 mesnetli sistemde hesaplanan desteklenmeyen boy/braket boyu oranı korunmuştur. 1 mesnetli sistemde hesaplanan oranlardan yararlanarak 2 mesnetli sistemdeki braket boyları bulunabilir:

Tablo 4.13 İki Tülanili Yapı İçin Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranları

Desteklenmeyen Boy	Oran (k_1)	Braket Boyu (Desteklenmeyen Boy/Oran)
4133 mm	10,33	400 mm
	7,75	533 mm
	6,2	667 mm
	5,16	800 mm
	4,43	933 mm

Desteklenmeyen boy $12400/3=4133$ mm olarak alınmıştır. Çünkü Şekil 4.3'e bakıldığında kullanılan 2 tülaninin kemereleri 3 eşit parçaya böldüğü görülebilmektedir. Dolayısıyla kemere 2 mesnetle desteklenmiştir. Bu yüzden desteklenmeyen 4133 mm olarak alınmıştır. Bu braket boylarında, her bir çerçevenin uç noktalarının (kemere ve postanın birleştiği nokta) moment değerleri güverte yükü altında okunmuş (eğilme momenti), daha sonra uç noktalar ankastre mesnet alınarak yeniden moment değerleri okunmuştur. Okunan moment değerleri birbirine oranlanarak ankastrelik moment oranı (c_1) elde edilmiştir. Burada, ankastrelik moment oranı; eğilme momenti/ankastrelik moment oranına eşittir. Aşağıdaki tablolarda bu oranları görmek mümkündür:

**4.3.2.1 İki Tülanili ve 11 Çerçeve Oluşan Sistemin Çeşitli Braket Boylarında
Köşe Noktalarına Etki Eden Moment Değerleri ve Ankastrelik Oranları**

1- Braket Boyu 400 mm

Tablo 4.14 400 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.10954E8	-0.15146E8	0.723
2	-0.20359E8	-0.27819E8	0.732
3	-0.19622E8	-0.26954E8	0.728
4	-0.32337E8	-0.39010E8	0.829
5	-0.20307E8	-0.27790E8	0.730
6	-0.22208E8	-0.30130E8	0.737
7	-0.20307E8	-0.27790E8	0.730
8	-0.32337E8	-0.39010E8	0.829
9	-0.19622E8	-0.26954E8	0.728
10	-0.20359E8	-0.27819E8	0.732
11	-0.10954E8	-0.15146E8	0.723

2- Braket Boyu 533 mm

Tablo 4.15 533 mm’lik Braket Boyunda Moment Ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.12238E8	-0.16584E8	0.738
2	-0.23151E8	-0.30993E8	0.747
3	-0.22449E8	-0.31215E8	0.743
4	-0.35870E8	-0.42500E8	0.844
5	-0.23188E8	-0.31126E8	0.745
6	-0.25119E8	-0.33403E8	0.752
7	-0.23188E8	-0.31126E8	0.745
8	-0.35870E8	-0.42500E8	0.844
9	-0.22449E8	-0.31215E8	0.743
10	-0.23151E8	-0.30993E8	0.747
11	-0.12238E8	-0.16584E8	0.738

3- Braket Boyu 667 mm

Tablo 4.16 667 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.13552E8	-0.17998E8	0.753
2	-0.26058E8	-0.34198E8	0.762
3	-0.25393E8	-0.33501E8	0.758
4	-0.39334E8	-0.45791E8	0.859
5	-0.26245E8	-0.34534E8	0.76
6	-0.28128E8	-0.36673E8	0.767
7	-0.26245E8	-0.34534E8	0.76
8	-0.39334E8	-0.45791E8	0.859
9	-0.25393E8	-0.33501E8	0.758
10	-0.26058E8	-0.34198E8	0.762
11	-0.13552E8	-0.17998E8	0.753

4- Braket Boyu 800 mm

Tablo 4.17 800 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrilik Moment Oranı

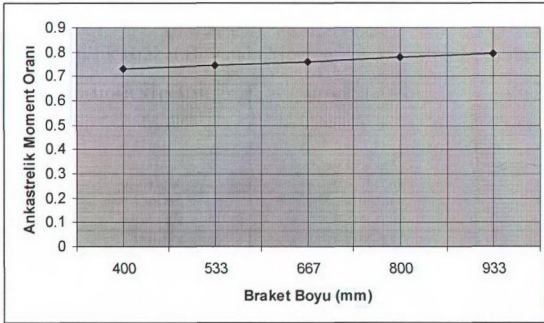
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.14981E8	-0.19507E8	0.768
2	-0.29209E8	-0.37593E8	0.777
3	-0.28672E8	-0.37092E8	0.773
4	-0.42985E8	-0.49183E8	0.874
5	-0.29605E8	-0.38201E8	0.775
6	-0.31440E8	-0.40205E8	0.782
7	-0.29605E8	-0.38201E8	0.775
8	-0.42985E8	-0.49183E8	0.874
9	-0.28672E8	-0.37092E8	0.773
10	-0.29209E8	-0.37593E8	0.777
11	-0.14981E8	-0.19507E8	0.768

5- Braket Boyu 933 mm

Tablo 4.18 933 mm’lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrilik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.16389E8	-0.20932E8	0.783
2	-0.32261E8	-0.40734E8	0.792
3	-0.31818E8	-0.40379E8	0.788
4	-0.46910E8	-0.52768E8	0.889
5	-0.32864E8	-0.41600E8	0.79
6	-0.34674E8	-0.43506E8	0.797
7	-0.32864E8	-0.41600E8	0.79
8	-0.46910E8	-0.52768E8	0.889
9	-0.31818E8	-0.40379E8	0.788
10	-0.32261E8	-0.40734E8	0.792
11	-0.16389E8	-0.20932E8	0.783

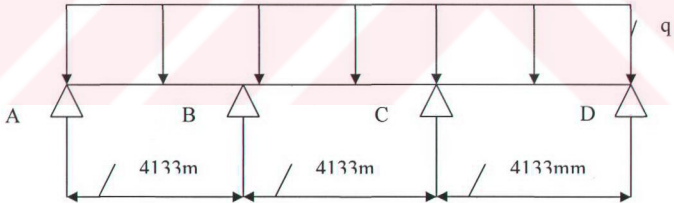
Yukarıdaki tablolara bakıldığında ankastrilik moment oranlarının braket boyunun artmasıyla birlikte düştüğü görülmektedir. Yine 2. çerçeve için bu değişime bakılırsa:



Şekil 4.5 Braket Boyu-Ankastrilik Moment Oranı Değişimi

4.3.2.2 İki Mesnetli Sistemde Ankastrelik Oranların (c_1) Kullanılmasıyla Kemelerin Mukavemet Momentlerin Hesaplanması

Aşağıdaki şekilde, iki tülanıden veya mesnetten oluşan, yayılı yük etkisindeki bir kemere görülmektedir. Kemere, A ve D noktalarından kesilerek çerçeveden ayrılmıştır. A ve D noktaları postayla, kemerenin birleştiği noktalardır. Bu noktalar, ankastre mesnet kabul edildiğinde her iki noktalardaki (A ve C noktaları) moment değeri $M_A = M_D = -\frac{qb^2}{12}$ şeklindedir. Bu moment değerlerini c gibi boyutsuz bir sayıyla çarpılırsa köşe noktalarının gerçek moment değerleri bulunabilir. Burada c, ankastrelik moment oranıdır. Yani, $c_1 = \text{eğilme momenti/ankastrelik moment}$ değeridir. Dolayısıyla, ankastrelik moment değeri c boyutsuz sayısıyla çarpıldığı zaman, köşe noktalarının gerçek eğilme momenti değerleri bulunabilir. Kemereye etki eden yayılı yük değeri $q=p.a$ şeklinde ifade edilmiştir. Burada p, kemere üzerine etki eden basınç değerini, a ise, postalar arası mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca moment değerleri içerisinde ifade edilen b değeri ise desteklenmeyen boyu göstermektedir. B ve C noktaları, tülani ile kemerenin birleşim noktalarını ifade eder ve bu noktalar kemere için mesnet görevi görür.



Şekil 4.6 İki Tülanlı (Mesnetli) Kemere Sistemi

A ve D noktalarına ankastre mesnet durumunda etki eden moment değerleri şu şekildedir.

$$M_A = M_D = -\frac{qb^2}{12} \quad (4.16)$$

A ve D noktalarına etki eden gerçek eğilme momenti değerleri ise:

$$M_A = M_D = -c_1 \frac{qb^2}{12} \quad (4.17)$$

şeklindedir.

Kemere boyunca 3 moment yöntemi uygulanırsa B ve C noktalarına etki eden moment değeri bulunur.

A, B ve C noktaları arasında 3 moment yöntemi uygulanırsa:

$$M_A = M_C \quad (4.18)$$

$$M_A \frac{b}{I} + 2M_B \left(\frac{b}{I} + \frac{b}{I} \right) + M_B \cdot \frac{b}{I} = -K_A \cdot \frac{b}{I} - K_C \cdot \frac{b}{I} \quad (4.19)$$

$$-\frac{c_1 q b^2}{12} \cdot \frac{b}{I} + 5M_B \cdot \frac{b}{I} = -\frac{2q b^2}{4} \cdot \frac{b}{I} \quad (4.20)$$

$$M_B = (c_1 - 6) \cdot \frac{q b^2}{60} \quad (4.21)$$

$$M_A = -\frac{c_1 q b^2}{12} \quad (4.22)$$

Toplam moment

$$M_m = M_A + \left(\frac{M_B - M_A}{b} \right) x + \frac{q b}{2} x - \frac{q x^2}{2} \quad (4.23)$$

x=b de moment maksimum değerine ulaşmaktadır(ilk mesnette)

$$M_{\max} = M_A + M_B - M_A + \frac{q b^2}{2} - \frac{q b^2}{2} \quad (4.24)$$

$$M_{\max} = M_B = \frac{(c_1 - 6) \cdot q \cdot b^2}{60} \quad (4.25)$$

$$W_{\min} = \frac{M_{\max}}{\sigma} = \frac{(c_1 - 6)}{60 \cdot \sigma} \cdot a \cdot p \cdot b^2 = \frac{1000 \cdot (c_1 - 6)}{60 \cdot 166,6} \cdot a \cdot p \cdot b^2 \cdot k \quad (4.26)$$

$$W_{\min} = 0,1 \cdot (c_1 - 6) \cdot a \cdot p \cdot b^2 \cdot k \quad (4.27)$$

4.3.2.2.1 İki Mesnetli Sistemde Belirli Desteklenmeyen Boy/Braket Bo Oranlarında Kemerelerin Mukavemet Momentlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, iki mesnetten oluşan sistem için çeşitli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında sistemi oluşturan normal kemerelerin mukavemet momentleri hesaplanacaktır. Bunun için, normal kemereler için Bölüm 4.3.2.2’de bulunan ifade kullanılacaktır ($W_{\min} = 0,1.(c_1 - 6).a.p.b^2.k$). Bu ifadeden hesaplanan mukavemet momenti değerleri, Türk Loydunda verilen $W_{\min} = 0,55.a.p.l^2.k$ ifadesinden hesaplanan mukavemet momenti değerleriyle karşılaştırılacaktır. Ayrıca, Türk Loydunda normal kemereler için verilmiş olan minimum mukavemet momenti formülasyonunun ilk ifadesini oluşturan 0,55 sabit sayısının yerine başka bir sabit sayının önerilmesine çalışılacaktır. Burada kullanılacak olan Katsayı1=0,1.($c_1 - 6$) ifadesi önerilecek katsayıyı, Katsayı2=0,55 ifadesi ise Türk Loydunun önerdiği sabit sayıyı göstermektedir. C ifadesi, ankastrelik moment oranını ifade etmektedir.

Tablo 4.19 İki Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=10,33$)

Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0,723	0,528	0,55	108	113
2	0,732	0,526	0,55	108	113
3	0,728	0,527	0,55	108	113
4	0,829	-	-	-	-
5	0,730	0,527	0,55	108	113
6	0,737	0,526	0,55	108	113
7	0,730	0,527	0,55	108	113
8	0,829	-	-	-	-
9	0,728	0,527	0,55	108	113
10	0,732	0,526	0,55	108	113
11	0,723	0,527	0,55	108	113

Tablo
İki

Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=7,75$)

Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0,738	0,526	0,55	108	113
2	0,747	0,525	0,55	108	113
3	0,743	0,525	0,55	108	113
4	0,844	-	-	-	-
5	0,745	0,525	0,55	108	113
6	0,752	0,524	0,55	108	113
7	0,745	0,525	0,55	108	113
8	0,844	-	-	-	-
9	0,743	0,525	0,55	108	113
10	0,747	0,525	0,55	108	113
11	0,738	0,526	0,55	108	113

Tablo 4.21 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=6,2$)

Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0.753	0,524	0,55	108	113
2	0.762	0,523	0,55	107	113
3	0.758	0,524	0,55	108	113
4	0.859	-	-	-	-
5	0.76	0,524	0,55	108	113
6	0.767	0,523	0,55	107	113
7	0.76	0,524	0,55	108	113
8	0.859	-	-	-	-
9	0.758	0,524	0,55	108	113
10	0.762	0,523	0,55	107	113
11	0.753	0,524	0,55	108	113

Tablo 4.22 İki Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri (k₁=5,16)

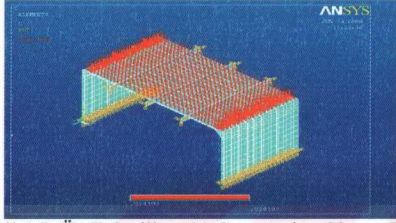
Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0.768	0,523	0,55	107	113
2	0.777	0,522	0,55	107	113
3	0.773	0,522	0,55	107	113
4	0.874	-	-	-	-
5	0.775	0,522	0,55	107	113
6	0.782	0,522	0,55	107	113
7	0.775	0,522	0,55	107	113
8	0.874	-	-	-	-
9	0.773	0,522	0,55	107	113
10	0.777	0,522	0,55	107	113
11	0.768	0,523	0,55	107	113

Tablo 4.23 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri (k₁=4,43)

Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0.783	0,521	0,55	107	113
2	0.792	0,520	0,55	107	113
3	0.788	0,521	0,55	107	113
4	0.889	-	-	-	-
5	0.79	0,521	0,55	107	113
6	0.797	0,520	0,55	107	113
7	0.79	0,521	0,55	107	113
8	0.889	-	-	-	-
9	0.788	0,521	0,55	107	113
10	0.792	0,520	0,55	107	113
11	0.783	0,521	0,55	107	113

4.3.3 Üç Tülanili ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

Bu bölümde yine 11 çerçveden oluşan bir blok incelenecektir. 11 çerçveden oluşan blokta 9 normal 2 de derin eleman bulunmaktadır. Bir çerçeve 2 posta, 1 adet kemere ve 2 adet braketten oluşmaktadır. Bununla birlikte boydan boya uzanan 3 tulani bulunmaktadır. Bloğun gösterimi aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.7 Üç Tülanili ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Yukarıdaki şekle bakıldığında tulanilerin uç kısımlarının tıpkı 1 ve 2 mesnetli sistemde olduğu gibi ankastre alındığı görülebilmektedir. Bunun nedeni tulanilerin perdelerden sonra devam ettiği şeklinde yapılan kabuldür. Bununla birlikte çift dibin postalarla bağlandığı kısımlar yine ankastre mesnet olarak kabul edilmektedir. Çünkü çift dip, postalara göre daha rijit bir yapıya sahiptir. Bundan dolayı bağlantı kısımları ankastre mesnet olarak kabul edilmiştir. Burada; 300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm ve 700 mm'lik braket boyları alınmıştır. 1 mesnetli sistemde hesaplanan desteklenmeyen boy/braket boyu oranı korunmuştur. 1 mesnetli sistemde hesaplanan oranlardan yararlanarak 3 mesnetli sistemdeki braket boyları bulunabilir:

Tablo 4.24 Üç Tülanili Yapı İçin Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranları

Desteklenmeyen Boy	Oran (k_1)	Braket Boyu (Desteklenmeyen Boy/Oran)
3100 mm	10,33	300 mm
	7,75	400 mm
	6,2	500 mm
	5,16	600 mm
	4,43	700 mm

Desteklenmeyen boy $12400/4=3100$ mm olarak alınmıştır. Şekil 4.5'e bakıldığında kullanılan 3 tülâninin kemereyi 3 eşit parçaya böldüğü görülmektedir. Tülânilerle kemerelerin kesiştiği noktalar kemere için mesnet görevi gördüğü için kemerelerin desteklenmeyen boyu 3100 mm olarak alınmıştır. Bu braket boylarında, her bir çerçevenin uç noktalarının (kemere ve postanın birleştiği nokta) moment değerleri güverte yükü altında okunmuş (normal moment), daha sonra uç noktalar ankastre mesnet alınarak yeniden moment değerleri okunmuştur. Okunan moment değerleri birbirine oranlanarak ankastrelik moment oranı (c₁) elde edilmiştir. Burada, ankastrelik moment oranı; normal moment/ankastrelik moment oranına eşittir. Aşağıdaki tablolarda bu oranları görmek mümkündür:

4.3.3.1 Üç Tülânili ve 11 Çerçveden Oluşan Sistemin Çeşitli Braket Boylarında Köşe Noktalarına Etki Eden Moment Değerleri ve Ankastrelik Oranları

1- Braket Boyu 300 mm

Tablo 4.25 300 mm'lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.67920E7	-0.80840E7	0.84
2	-0.13156E8	-0.15501E8	0.84
3	-0.12823E8	-0.15141E8	0.84
4	-0.23051E8	-0.26068E8	0.88
5	-0.13493E8	-0.15888E8	0.84
6	-0.14685E8	-0.17216E8	0.85
7	-0.13493E8	-0.15888E8	0.84
8	-0.23051E8	-0.26068E8	0.88
9	-0.12823E8	-0.15141E8	0.84
10	-0.13156E8	-0.15501E8	0.84
11	-0.67920E7	-0.80840E7	0.84

2- Braket Boyu 400 mm

Tablo 4.26 400 mm'lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.77056E7	-0.89601E7	0.86
2	-0.14990E8	-0.17431E8	0.86
3	-0.14743E8	-0.17144E8	0.86
4	-0.25620E8	-0.28467E8	0.9
5	-0.15480E8	-0.18001E8	0.86
6	-0.16772E8	-0.19279E8	0.87
7	-0.15480E8	-0.18001E8	0.86
8	-0.25620E8	-0.28467E8	0.9
9	-0.14743E8	-0.17144E8	0.86
10	-0.14990E8	-0.17431E8	0.86
11	-0.77056E7	-0.89601E7	0.86

3- Braket Boyu 500 mm

Tablo 4.27 500 mm'lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.86078E7	-0.97817E7	0.88
2	-0.16917E8	-0.19224E8	0.88
3	-0.16753E8	-0.19038E8	0.88
4	-0.28379E8	-0.30847E8	0.92
5	-0.18391E8	-0.19991E8	0.88
6	-0.18871E8	-0.21204E8	0.89
7	-0.18391E8	-0.19991E8	0.88
8	-0.28379E8	-0.30847E8	0.92
9	-0.16753E8	-0.19038E8	0.88
10	-0.16917E8	-0.19224E8	0.88
11	-0.86078E7	-0.97817E7	0.88

4- Braket Boyu 600 mm

Tablo 4.28 600 mm'lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

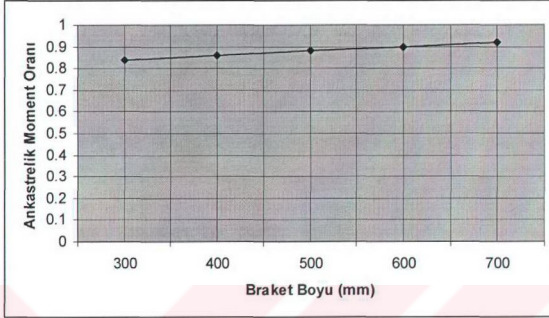
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.95067E7	-0.10563E8	0.9
2	-0.18891E8	-0.20991E8	0.9
3	-0.18872E8	-0.20969E8	0.9
4	-0.31562E8	-0.33577E8	0.94
5	-0.20672E8	-0.21992E8	0.9
6	-0.21046E8	-0.23128E8	0.91
7	-0.20672E8	-0.21992E8	0.9
8	-0.31562E8	-0.33577E8	0.94
9	-0.18872E8	-0.20969E8	0.9
10	-0.18891E8	-0.20991E8	0.9
11	-0.95067E7	-0.10563E8	0.9

5- Braket Boyu 700 mm

Tablo 4.29 700 m'lik Braket Boyunda Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.10457E8	-0.11367E8	0.92
2	-0.20976E8	-0.22800E8	0.92
3	-0.21058E8	-0.22890E8	0.92
4	-0.34778E8	-0.36228E8	0.96
5	-0.23070E8	-0.24032E8	0.92
6	-0.23349E8	-0.25107E8	0.93
7	-0.23070E8	-0.24032E8	0.92
8	-0.34778E8	-0.36228E8	0.96
9	-0.21058E8	-0.22890E8	0.92
10	-0.20976E8	-0.22800E8	0.92
11	-0.10457E8	-0.11367E8	0.92

Yukarıdaki tablolara bakıldığında yine ankastrelik moment oranlarının braket boyunun artmasıyla birlikte azaldığı görülmektedir. 2. çerçevede bu durum incelenirse aşağıdaki gibi bir değişim ortaya çıkar:



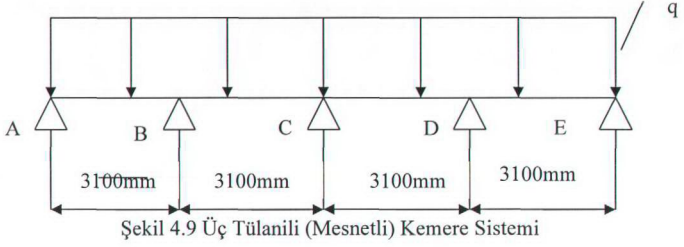
Şekil 4.8 Braket Boyu-Ankastrelik Moment Oranı Değişimi

4.3.3.2 Üç Mesnetli Sistemde Ankastrelik Oranların (c) Kullanılmasıyla Kemerlerin Mukavemet Momentlerin Hesaplanması

Aşağıdaki şekilde, üç tülanıden veya mesnetten oluşan, yayılı yük etkisindeki bir kemere görülmektedir. Kemere, A ve E noktalarından kesilerek çerçeveden ayrılmıştır. A ve D noktaları postayla, kemerenin birleştiği noktalardır. Bu noktalar, ankastre mesnet kabul edildiğinde her iki noktalardaki (A ve C noktaları) moment

değeri $M_A = M_E = -\frac{qb^2}{12}$ şeklindedir. Bu moment değerlerini c gibi boyutsuz bir

sayıyla çarpılırsa köşe noktalarının gerçek moment değerleri bulunabilir. Burada c, ankastrelik moment oranıdır. Yani, $c_1 = \text{eğilme momenti/ankastrelik moment}$ değeridir. Dolayısıyla, ankastrelik moment değeri c_1 boyutsuz sayısıyla çarpıldığı zaman, köşe noktalarının gerçek eğilme momenti değerleri bulunabilir. Kemereye etki eden yayılı yük değeri $q=p.a$ şeklinde ifade edilmiştir. Burada p, kemere üzerine etki eden basınç değerini, a ise, postalar arası mesafeyi ifade etmektedir. Ayrıca moment değerleri içersinde ifade edilen b değeri ise desteklenmeyen boyu göstermektedir. B ve C noktaları, tülani ile kemerenin birleşim noktalarını ifade eder ve bu noktalar kemere için mesnet görevi görür.



A ve E noktalarına ankastre mesnet durumunda etki eden moment değerleri şu şekildedir.

$$M_A = M_E = -\frac{qb^2}{12} \quad (4.28)$$

A ve E noktalarına etki eden gerçek eğilme momenti değerleri ise:

$$M_A = M_E = -c_1 \frac{qb^2}{12} \quad (4.29)$$

şeklindedir.

Kemere boyunca 3 moment yöntemi uygulanırsa B ve C noktalarına etki eden moment değeri bulunur.

ABC

$$M_A \frac{b}{I} + 4M_B \frac{b}{I} + M_C \frac{b}{I} = -\frac{qb^3}{2I} \quad (4.30)$$

$$M_A + 4M_B + M_C = -\frac{qb^2}{2} \quad (4.31)$$

BCD

$$M_B \frac{b}{I} + 4M_C \frac{b}{I} + M_B \frac{b}{I} = -\frac{qb^2}{2} \quad (4.32)$$

$$2M_B + 4M_C = -\frac{qb^2}{2} \quad (4.33)$$

Yukarıdaki denklemlerden B ve C noktasındaki moment değerleri bulunur:

$$M_C = -(c_1 + 6) \frac{qb^2}{84} \quad (4.34)$$

$$M_B = M_{\max} = \frac{(2c_1 - 9)}{84} . qb^2 \quad (4.35)$$

$$W_{\min} = \frac{M_{\max}}{\sigma} = \frac{1000.(2c_1 - 9)}{84.\sigma} . a.p.b^2 = \frac{1000.(2c_1 - 9)}{84.166,6} . a.p.b^2 . k \quad (4.36)$$

$$W_{\min} = 0,071.(2c_1 - 9).a.p.b^2 . k \quad (4.37)$$

- Üç Mesnetli Sistemde Belirli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranlarında Kemerelerin Mukavemet Momentlerinin Hesaplanması

Bu bölümde, üç mesnetten oluşan sistem için çeşitli desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarında sistemi oluşturan normal kemerelerin mukavemet momentleri hesaplanacaktır. Bunun için, normal kemereler için Bölüm 4.3.3.2’de bulunan ifade kullanılacaktır ($W_{\min} = 0,071.(2c_1 - 9).a.p.b^2 . k$). Bu ifadeden hesaplanan mukavemet momenti değerleri, Türk Loydunda verilen $W_{\min} = 0,55.a.p.l^2 . k$ ifadesinden hesaplanan mukavemet momenti değerleriyle karşılaştırılacaktır. Ayrıca, Türk Loydunda normal kemereler için verilmiş olan minimum mukavemet momenti formülasyonunun ilk ifadesini oluşturan 0,55 sabit sayısının yerine başka bir sabit sayının önerilmesine çalışılacaktır. Burada kullanılacak olan Katsayı1=0,071.(2c₁ - 9) ifadesi önerilecek katsayıyı, Katsayı2=0,55 ifadesi ise Türk Loydunun önerdiği sabit sayıyı göstermektedir. C ifadesi, ankastrelik moment oranını ifade etmektedir.

Tablo 4.30 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-W_{min1}-W_{min2} Değerleri (k₁=10,33)

Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0.84	0,519	0,55	60	64
2	0.84	0,519	0,55	60	64
3	0.84	0,519	0,55	60	64
4	0.88	-	-	-	-
5	0.84	0,519	0,55	60	64
6	0.85	0,518	0,55	60	64
7	0.84	0,519	0,55	60	64
8	0.88	-	-	-	-
9	0.84	0,519	0,55	60	64
10	0.84	0,519	0,55	60	64
11	0.84	0,519	0,55	60	64

Tablo 4.31 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=7,75$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W_{min1}	W_{min2}
1	0.86	0,516	0,55	60	64
2	0.86	0,516	0,55	60	64
3	0.86	0,516	0,55	60	64
4	0.9	-	-	-	-
5	0.86	0,516	0,55	60	64
6	0.87	0,515	0,55	60	64
7	0.86	0,516	0,55	60	64
8	0.9	-	-	-	-
9	0.86	0,516	0,55	60	64
10	0.86	0,516	0,55	60	64
11	0.86	0,516	0,55	60	64

Tablo 4.32 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=6,2$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W_{min1}	W_{min2}
1	0.88	0,514	0,55	60	64
2	0.88	0,514	0,55	60	64
3	0.88	0,514	0,55	60	64
4	0.92	-	-	-	-
5	0.88	0,514	0,55	60	64
6	0.89	0,513	0,55	60	64
7	0.88	0,514	0,55	60	64
8	0.92	-	-	-	-
9	0.88	0,514	0,55	60	64
10	0.88	0,514	0,55	60	64
11	0.88	0,514	0,55	60	64

Tablo 4.33 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-Wmin1-Wmin2 Değerleri ($k_1=5,16$)

Çerçeve No	C_1	Katsayı1	Katsayı2	W_{min1}	W_{min2}
1	0.9	0,511	0,55	59	64
2	0.9	0,511	0,55	59	64
3	0.9	0,511	0,55	59	64
4	0.94	-	-	-	-
5	0.9	0,511	0,55	59	64
6	0.91	0,511	0,55	59	64
7	0.9	0,511	0,55	59	64
8	0.94	-	-	-	-
9	0.9	0,511	0,55	59	64
10	0.9	0,511	0,55	59	64
11	0.9	0,511	0,55	59	64

Tablo 4.34 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1-Katsayı2-W_{min1}-W_{min2} Değerleri (k₁=4,43)

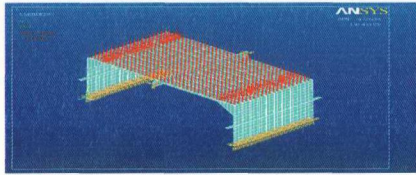
Çerçeve No	C ₁	Katsayı1	Katsayı2	W _{min1}	W _{min2}
1	0.92	0,508	0,55	59	64
2	0.92	0,508	0,55	59	64
3	0.92	0,508	0,55	59	64
4	0.96	-	-	-	-
5	0.92	0,508	0,55	59	64
6	0.93	0,508	0,55	59	64
7	0.92	0,508	0,55	59	64
8	0.96	-	-	-	-
9	0.92	0,508	0,55	59	64
10	0.92	0,508	0,55	59	64
11	0.92	0,508	0,55	59	64

Şimdi ise stringer sayısına bağlı olarak ankastrelik oranların nasıl değiştiği incelenecektir.

4.3.4 Bir Mesnetli Bloкта Stringer Sayısına Bağlı Olarak Ankastrelik Oranların Değişimi

Burada, 1 tülânili ve 11 çerçeveden oluşan yapı dikkate alınacak ve stringer sayısının değişimiyle birlikte ankastrelik oranların nasıl değiştiği incelenecektir. Bunun için Tablo 4.1'den yararlanılacaktır. Türk Loydu kurallarına göre çeşitli yapı durumları için hesaplanan mukavemet momenti değerleri Tablo 4.1'de gösterilmektedir. Dolayısıyla, 1 tülânili ve 11 çerçeveden oluşan ve 1 adet stringere sahip olan yapı için dikkate alınan mukavemet momentleri posta için $109cm^3$, derin posta için $392cm^3$ ve stringer için $302cm^3$ olarak alınacaktır. 1 tülânili ve 11 çerçeveden oluşan ve 2 stringere sahip yapı için mukavemet momentleri posta için $47cm^3$, derin posta için $189cm^3$ ve stringerler için sırasıyla $158cm^3$ ve $245cm^3$ olarak alınacaktır. 3 stringere sahip blok için ise mukavemet momentleri posta için $25cm^3$, derin posta için $110cm^3$, stringerler için ise sırasıyla $102cm^3$, $150cm^3$ ve $200cm^3$ olarak alınacaktır.

4.3.4.1 Bir Tülani, 1 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

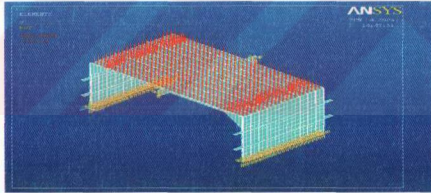


Şekil 4.10 Bir Tülani, 1 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Tablo 4.35 Bir Mesnet ve 1 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.26066E8	-0.35082E8	0.743
2	-0.48249E8	-0.64272E8	0.750
3	-0.47572E8	-0.62375E8	0.762
4	-0.69882E8	-0.90441E8	0.772
5	-0.47831E8	-0.63511E8	0.753
6	-0.50870E8	-0.67698E8	0.751
7	-0.47831E8	-0.63511E8	0.753
8	-0.69882E8	-0.90441E8	0.772
9	-0.47572E8	-0.62375E8	0.762
10	-0.48249E8	-0.64272E8	0.750
11	-0.26066E8	-0.35082E8	0.743

4.3.4.2 Bir Tülani, 2 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

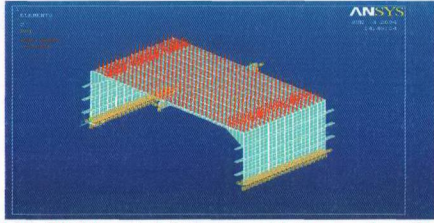


Şekil 4.11 Bir Mesnet, 2 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Tablo 4.36 Bir Tülani ve 2 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.25771E8	-0.35082E8	0.734
2	-0.47700E8	-0.64272E8	0.742
3	-0.47031E8	-0.62375E8	0.754
4	-0.69198E8	-0.90441E8	0.765
5	-0.47281E8	-0.63511E8	0.744
6	-0.50293E8	-0.67698E8	0.743
7	-0.47281E8	-0.63511E8	0.744
8	-0.69198E8	-0.90441E8	0.765
9	-0.47031E8	-0.62375E8	0.754
10	-0.47700E8	-0.64272E8	0.742
11	-0.25771E8	-0.35082E8	0.734

4.3.4.3 Bir Tülani, 3 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

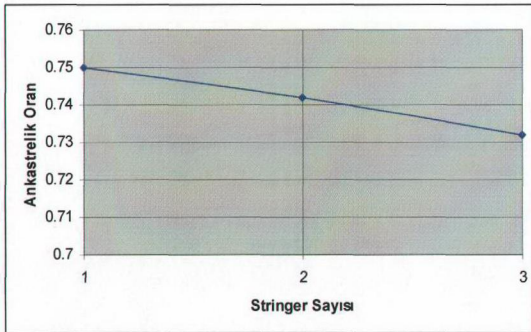


Şekil 4.12 Bir Mesnet, 3 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Tablo 4.37 Bir Tülani ve 3 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

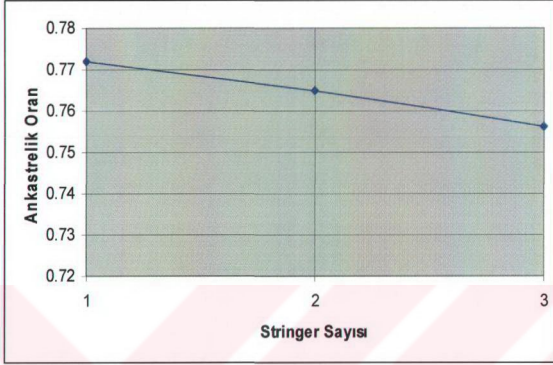
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.25427E8	-0.35082E8	0.724
2	-0.47059E8	-0.64272E8	0.732
3	-0.46400E8	-0.62375E8	0.743
4	-0.68400E8	-0.90441E8	0.756
5	-0.46640E8	-0.63511E8	0.734
6	-0.49620E8	-0.67698E8	0.733
7	-0.46640E8	-0.63511E8	0.734
8	-0.68400E8	-0.90441E8	0.756
9	-0.46400E8	-0.62375E8	0.743
10	-0.47059E8	-0.64272E8	0.732
11	-0.25427E8	-0.35082E8	0.724

1 mesnetli sistem için normal elemanda stringer sayısı ile ankastrelik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülür (Braket Boyu=1400mm Çerçeve No=2):



Şekil 4.13 Stringer Sayısı-Ankastrelik Oran Değişimi

Yine 1 mesnetli sistem için derin elemanda stringer sayısı ile ankastrelik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülebilir (Braket Boyu=1400mm Çerçeve No=4):

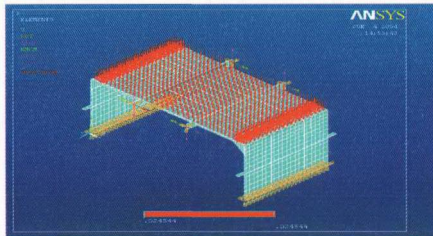


Şekil 4.14 Stringer Sayısı-Ankastrelik Oran Değişimi

4.3.5 İki Tülanili Bloкта Stringer Sayısına Bağlı Olarak Ankastrelik Oranların Değişimi

Burada, 2 tülanili ve 11 çerçeveden oluşan blok ele alınacak ve bu blok için stringer sayısının değişimiyle ankastrelik oranların nasıl değiştiği incelenecektir. Tülani sayısının değişimi posta, derin posta ve stringer mukavemet momentlerini etkilememektedir. Dolayısıyla bu elemanların mukavemet momentleri 3.2.4’de belirtilen değerlerdir.

4.3.5.1 İki Tülani, 1 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

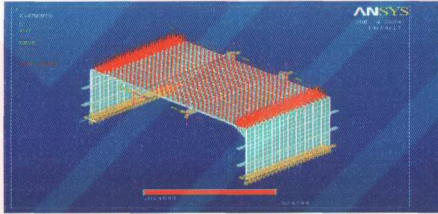


Şekil 4.15 İki Mesnet, 1 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Blok

Tablo 4.38 İki Mesnet ve 1 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.16550E8	-0.20932E8	0.79
2	-0.32422E8	-0.40734E8	0.796
3	-0.31979E8	-0.40379E8	0.792
4	-0.47071E8	-0.52768E8	0.892
5	-0.33025E8	-0.41600E8	0.794
6	-0.34835E8	-0.43506E8	0.800
7	-0.33025E8	-0.41600E8	0.794
8	-0.47071E8	-0.52768E8	0.892
9	-0.31979E8	-0.40379E8	0.792
10	-0.32422E8	-0.40734E8	0.796
11	-0.16550E8	-0.20932E8	0.79

4.3.5.2 İki Tülani, 2 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

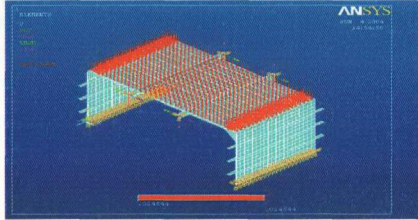


Şekil 4.16 İki Mesnet, 2 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Blok

Tablo 4.39 İki Mesnet ve 2 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.16255E8	-0.20932E8	0.776
2	-0.32127E8	-0.40734E8	0.788
3	-0.31684E8	-0.40379E8	0.784
4	-0.46776E8	-0.52768E8	0.886
5	-0.32730E8	-0.41600E8	0.786
6	-0.34540E8	-0.43506E8	0.794
7	-0.32730E8	-0.41600E8	0.786
8	-0.46776E8	-0.52768E8	0.886
9	-0.31684E8	-0.40379E8	0.784
10	-0.32127E8	-0.40734E8	0.788
11	-0.16255E8	-0.20932E8	0.776

4.3.5.3 İki Tüneli, 3 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

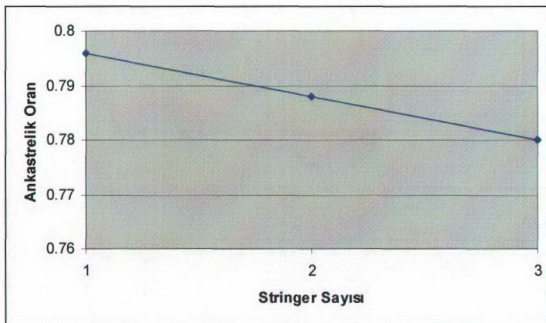


Şekil 4.17 İki Mesnet, 3 Stringer ve 11 Çerçveden Oluşan Blok

Tablo 4.40 İki Mesnet ve 3 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelilik Moment Oranı

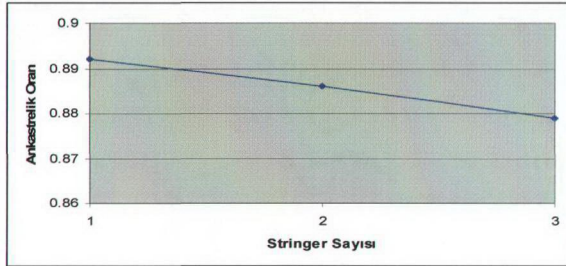
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.15911E8	-0.20932E8	0.760
2	-0.31783E8	-0.40734E8	0.780
3	-0.31340E8	-0.40379E8	0.776
4	-0.46432E8	-0.52768E8	0.879
5	-0.32386E8	-0.41600E8	0.778
6	-0.34196E8	-0.43506E8	0.786
7	-0.32386E8	-0.41600E8	0.778
8	-0.46432E8	-0.52768E8	0.879
9	-0.31340E8	-0.40379E8	0.776
10	-0.31783E8	-0.40734E8	0.780
11	-0.15911E8	-0.20932E8	0.760

2 mesnetli sistem için normal elemanda stringer sayısı ile ankastrelilik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülür (Braket Boyu=933mm Çerçeve No=2):



Şekil 4.18 Stringer Sayısı-Ankastrelilik Oran Değişimi

Yine 2 mesnetli sistem için derin elemanda stringer sayısı ile ankastrelik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülebilir (Braket Boyu=933mm Çerçeve No=4):

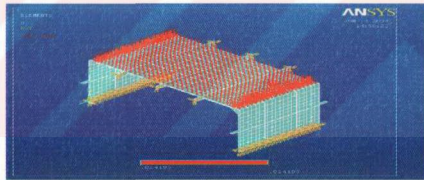


Şekil 4.19 Stringer Sayısı-Ankastrelik Oran Değişimi

4.3.6 Üç Tülanili Bloкта Stringer Sayısına Bağlı Olarak Ankastrelik Oranların Değişimi

Yine; posta, derin posta ve stringerlerin mukavemet momentleri 3.2.4’de belirtildiği gibidir.

4.3.6.1 Üç Tülani, 1 Stringer ve 11 Çerçevden Oluşan Bloğun İncelenmesi

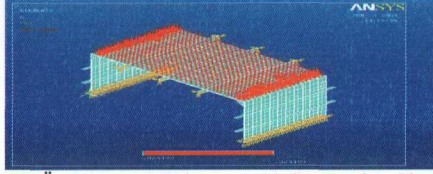


Şekil 4.20 Üç Mesnet, 1 Stringer ve 11 Çerçevden Oluşan Blok

Tablo 4.41 Üç Mesnet ve 1 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankastrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.10618E8	-0.11367E8	0.934
2	-0.21137E8	-0.22800E8	0.927
3	-0.21219E8	-0.22890E8	0.927
4	-0.34939E8	-0.36228E8	0.964
5	-0.15911E8	-0.24032E8	0.966
6	-0.23510E8	-0.25107E8	0.936
7	-0.15911E8	-0.24032E8	0.966
8	-0.34939E8	-0.36228E8	0.964
9	-0.21219E8	-0.22890E8	0.927
10	-0.21137E8	-0.22800E8	0.927
11	-0.10618E8	-0.11367E8	0.934

4.3.6.2 Üç Tüneli, 2 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

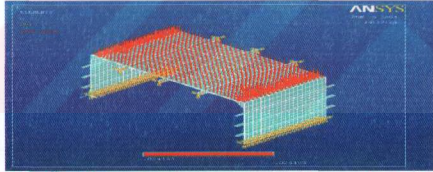


Şekil 4.21 Üç Mesnet, 2 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Blok

Tablo 4.42 Üç Mesnet ve 2 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankaştrelik Moment Oranı

ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.10323E8	-0.11367E8	0.908
2	-0.20842E8	-0.22800E8	0.914
3	-0.20924E8	-0.22890E8	0.914
4	-0.34644E8	-0.36228E8	0.956
5	-0.22936E8	-0.24032E8	0.954
6	-0.23215E8	-0.25107E8	0.924
7	-0.22936E8	-0.24032E8	0.954
8	-0.34644E8	-0.36228E8	0.956
9	-0.20924E8	-0.22890E8	0.914
10	-0.20842E8	-0.22800E8	0.914
11	-0.10323E8	-0.11367E8	0.908

4.3.6.3 Üç Tüneli, 3 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Bloğun İncelenmesi

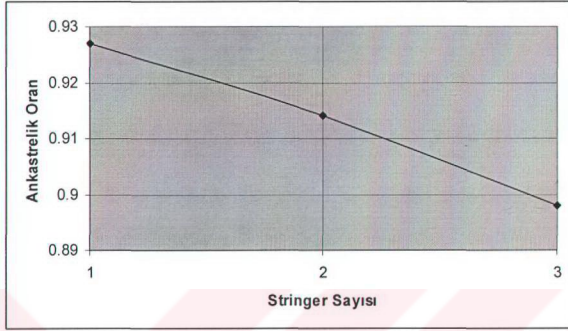


Şekil 4.22 Üç Mesnet, 3 Stringer ve 11 Çerçeveden Oluşan Blok

Tablo 4.43 Üç Mesnet ve 3 Stringerli Bloкта Oluşan Moment ve Ankaştrelik Moment Oranı

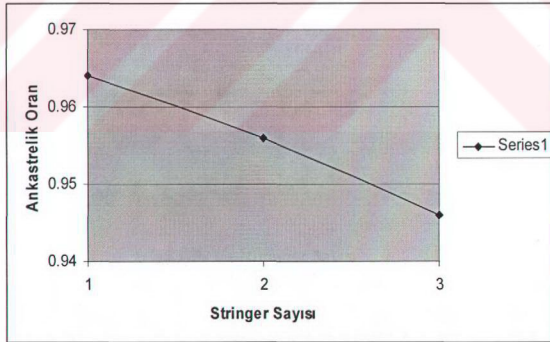
ÇERÇEVE NO	MOMENT(N.MM)	MOMENT(ANKS)	ANKS ORANI
1	-0.09979E8	-0.11367E8	0.877
2	-0.20496E8	-0.22800E8	0.898
3	-0.20580E8	-0.22890E8	0.899
4	-0.34300E8	-0.36228E8	0.946
5	-0.22592E8	-0.24032E8	0.940
6	-0.22871E8	-0.25107E8	0.910
7	-0.22592E8	-0.24032E8	0.940
8	-0.34300E8	-0.36228E8	0.946
9	-0.20580E8	-0.22890E8	0.899
10	-0.20496E8	-0.22800E8	0.898
11	-0.09979E8	-0.11367E8	0.877

3 mesnetli sistem için normal elemanda stringer sayısı ile ankastrelik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülür (Braket Boyu=700mm Çerçeve No=2):



Şekil 4.23 Stringer Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi

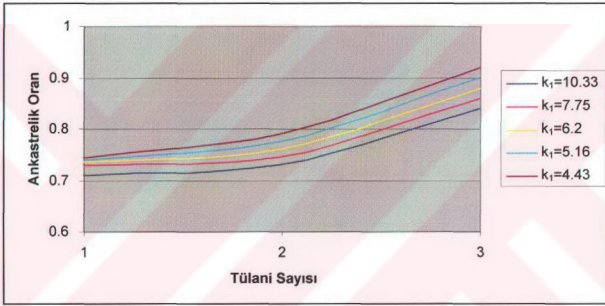
Yine 3 mesnetli sistem için derin elemanda stringer sayısı ile ankastrelik oranının değişimine bakılırsa aşağıdaki gibi bir değişim görülür (Braket Boyu=700mm Çerçeve No=4):



Şekil 4.24 Stringer Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi

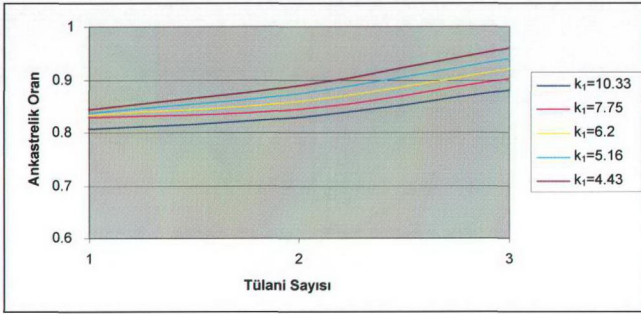
5. SONUÇLAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Normal elemanlardan (posta, kemere) oluşan 2. çerçeve için oluşturulmuş olan Şekil 5.1'e bakıldığında belirli bir desteklenmeyen boy/braket boyu oranında (k), tülani sayısını artırdıkça ankastrelik oranının (c) arttığı görülmektedir. Yine aynı grafikten, belirli bir tülani sayısında braket boyunu artırdıkça c oranının arttığı görülmektedir. Aşağıdaki grafikte kullanılan k (desteklenmeyen boy/braket boyu) değerleri Tablo 3.2 'den alınan değerlerdir.



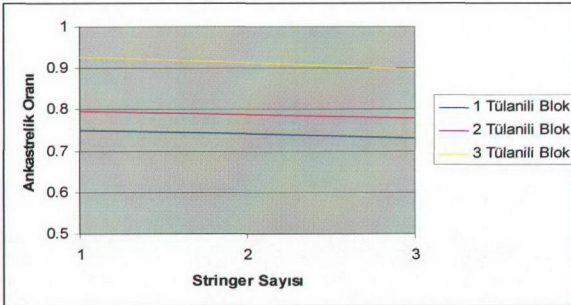
Şekil 5.1 Çeşitli k_1 Değerleri İçin Tülani Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi (Normal Çerçeve)

Derin elemanlardan (derin posta, derin kemere) oluşan 4. çerçeve için Şekil 5.2'e bakıldığında yine aynı şekilde belirli bir destelenmeyen boy/braket boyu oranında (k_1), tülani sayısının artmasıyla c oranının arttığı görülmektedir. Bu artış, 2 tülaniden sonra artmaktadır. Yani Şekil 5.1'deki 2 tülaniden sonraki artışla, Şekil 5.2'deki 2 tülaniden sonraki artış karşılaştırıldığında Şekil 5.2'deki artışın daha az olduğu görülmektedir. O halde, derin çerçevede 2 tülaniden sonra c_1 oranındaki artış, normal çerçeveye göre daha az olmaktadır. Yine, Şekil 5.2'den belirli bir tülani sayısında braket boyunu artırdıkça c_1 oranının arttığı görülmektedir.



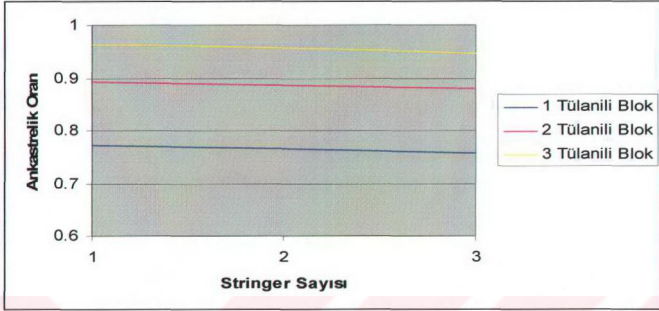
Şekil 5.2 Çeşitli k_1 Değerleri İçin Tülani Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi (Derin Çerçeve)

Normal çerçeve için (2. çerçeve); Şekil 5.3'e bakıldığında stringer sayısının artmasıyla ankastrelik oranın düştüğü görülmektedir. Stringer sayısını artırdıkça, postanın ve derin postanın mukavemet momentleri de azalacaktır. Yine aynı şekilde tülani sayısını artırdıkça kemere ve derin kemelerin mukavemet momentleri küçülecektir. Posta ve kemeler arasında mukavemet momenti farkı ne kadar çok olursa ankastrelik oran (c_1) bundan etkilenecektir. Şekil 5.3'de 1 tülanili blok dikkate alındığında; stringer sayısı 1 olduğunda ankastrelik oran 0,75 iken, stringer sayısı 2'ye ve 3'e çıkarıldığında bu oranın düştüğü görülmektedir. Çünkü, stringer sayısı arttıkça postanın mukavemet momenti küçüldüğünden köşe noktasının (posta ile kemerinin birleştiği nokta) ankastrelik moment değerinden daha küçük bir moment değeri taşıdığı söylenebilir. Buna bağlı olarak ankastrelik oran da (c_1) küçülür.



Şekil 5.3 Çeşitli Tülani Sayılarında Stringer Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi (Normal Çerçeve)

Derin çerçeve için, Şekil 5.4'e bakıldığında yukarıdaki ifadeler söylenebilir.



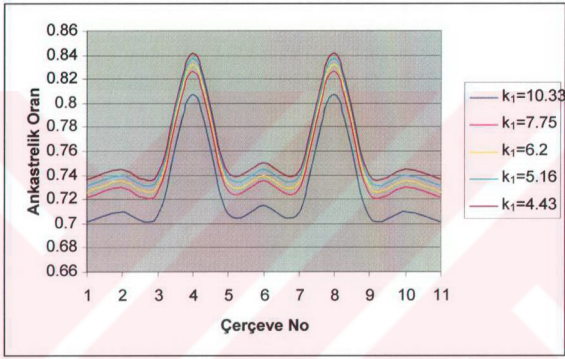
Şekil 5.4 Çeşitli Tülani Sayılarında Stringer Sayısı-Ankastrelik Oranı Değişimi (Derin Çerçeve)

1 tülani ve 11 çerçeveden oluşan blokta, braket boyları artırıldıkça (desteklenmeyen boy/braket boyu oranı düştükçe) ankastrelik oranların arttığı görülmüştür. Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de örneğin 6. çerçeveye bakıldığında bu durum görülebilmektedir. Bütün çerçeveler için bu durum geçerlidir.

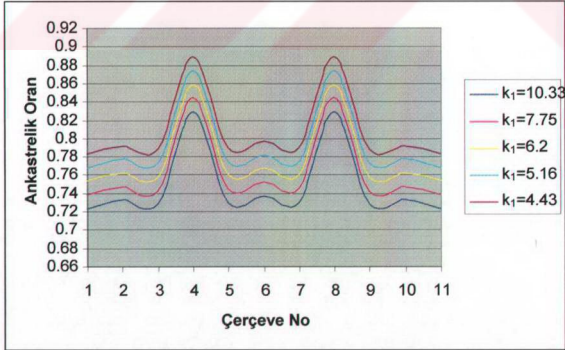
Tülani sayısı arttıkça, farklı braket boylarındaki ankastrelik oranları (c_1) değer olarak birbirinden uzaklaşmaktadır. Bu durum Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'den görülebilmektedir.

Ankastrelik oranları (c_1), derin çerçevelerde pik yapmaktadır. Yani maksimum değerine ulaşmaktadır. 1 tülani bloğa bakıldığında, $k_1=10,33$ oranında derin çerçeveden (4. çerçeve) bir önceki çerçevede (3. çerçeve) ankastrelik oran 0,706 iken, derin çerçevede bu değer 0,807'e çıkmaktadır. Burada, ankastrelik oranda yaklaşık olarak % 14'lük bir artış olmuştur (Tablo 4.3 ve Şekil 5.5). Ankastrelik oran (c_1) değerinde, $k_1=7,75$ oranında % 13,9 (Tablo 4.4 ve Şekil 5.5), $k_1=6,2$ oranında % 13,8 (Tablo 4.5 ve Şekil 5.5), $k_1=5,16$ oranında % 13,7 (Tablo 4.6 ve Şekil 5.5) ve $k_1=4,43$ oranında ise % 13,6'lık (Tablo 4.7 ve Şekil 5.5) artışlar görülmüştür. 2 tülani blokta, 3. çerçeveden 4. çerçeveye geçişte $k_1=10,33$ oranında ankastrelik oran yaklaşık % 13,8 (Tablo 4.9 ve Şekil 5.6), $k_1=7,75$ oranında % 13,6 (Tablo 4.10 ve Şekil 5.6), $k_1=6,2$ oranında % 13,3 (Tablo 4.11 ve Şekil 5.6), $k_1=5,16$

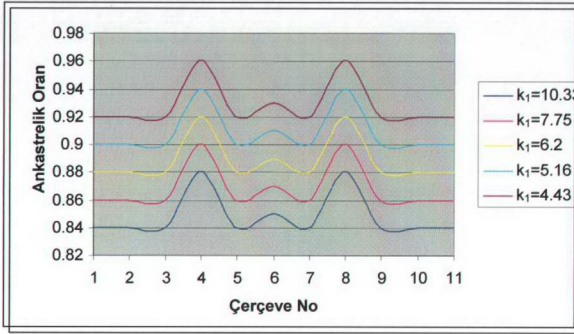
oranında % 13 (Tablo 4.12 ve Şekil 5.6) ve $k_1=4,43$ oranında % 12,8'lik (Tablo 4.13 ve Şekil 5.6) artış görülmüştür. 3 tülaneli blokta; $k_1=10,33$ oranında ankastrelik oranda % 4,8 (Tablo 4.15 ve Şekil 5.7), $k_1=7,75$ oranında % 4,6 (Tablo 4.16 ve Şekil 5.7), $k_1=6,2$ oranında % 4,5 (Tablo 4.17 ve Şekil 5.7), $k_1=5,16$ oranında % 4,4 (Tablo 4.18 ve Şekil 5.7) ve $k_1=4,43$ oranında ise % 4,3'lük (Tablo 4.19 ve Şekil 5.7) artış görülmüştür. Dolayısıyla, braket boyu arttıkça normal çerçeveden, derin çerçeveye geçişte ankastrelik orandaki artış daha küçük olmuştur. Ancak ankastrelik orandaki artışlardaki küçülmeler çok küçük olmuştur.



Şekil 5.5 Çeşitli Braket Boylarında Çerçevelerin Köşe Noktalarındaki Ankastrelik Moment Oranları (1 Tülaneli Blok İçin)



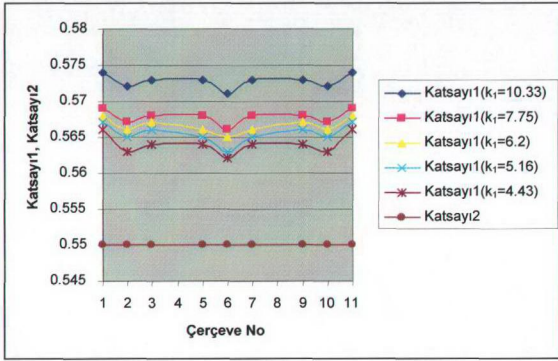
Şekil 5.6 Çeşitli Braket Boylarında Çerçevelerin Köşe Noktalarında Ankastrelik Moment Oranları (2 Tülaneli Blok İçin)



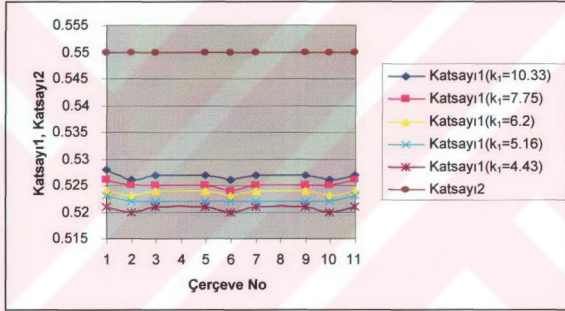
Şekil 5.7 Çeşitli Braket Boylarında Çerçevelerin Köşe Noktalarındaki Ankastrelik Moment Oranları (3 Tüneli Blok İçin)

Sonlu Elemanlar Metodu, deneysel yöntemlerin yerine kullanılabilir. İkinci bölümde, deneysel bir yöntem olan fotoelastisite yönteminden elde edilen gerilme dağılımı ile Sonlu Elemanlar Yöntemini kullanan ANSYS'den elde edilen gerilme dağılımlarının birbirine benzediği görülmüştü. Dolayısıyla, fotoelastisite yöntemi hem zahmetli hem de maliyetli olduğu için, bunun yerine ANSYS programı kullanılabilir. Bu şekilde hem maliyetler azaltılır hem de zamandan tasarruf edilebilir.

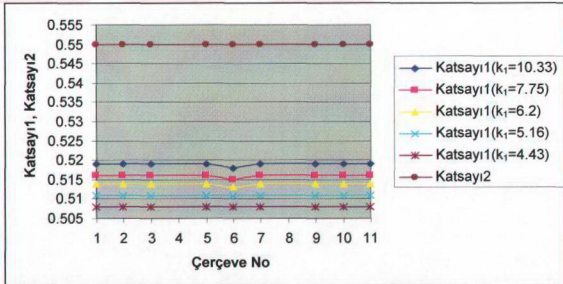
Türk Loydunun, normal kemereler için önerdiği minimum mukavemet momenti ifadesi $W_{\min} = 0,55.a.p.l^2.k$ şeklindedir. Loydun, bu ifadede önerdiği sabit sayı 0,55'tir (Katsayı1). Bu çalışmanın sonucunda önerilen sabit sayılar (Katsayı2) ise aşağıdaki gibidir. Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sırasıyla bir, iki ve üç mesnetli sistemler için Katsayı1 ve Katsayı2 değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Bir Mesnetli Sistem İçin Katsayı1 ve Katsayı2 Değerleri



Şekil 5.9 İki Mesnetli Sistem İçin Katsayı1 ve Katsayı2 Değerleri



Şekil 5.10 Üç Mesnetli Sistem İçin Katsayı1 ve Katsayı2 Değerleri

Bir mesnetten oluşan blok için desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarına göre alınması önerilen Katsayı1 değerleri ve minimum mukavemet momenti ifadesi şu şekildedir:

Tablo 5.1 Bir Mesnetli Blok İçin Çeşitli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranlarında Önerilen Katsayı1 ve Mukavemet Momentleri

Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu	Katsayı1	$W_{\min}$
10	0,571	$0,571.a.p.l^2.k$
8	0,566	$0,566.a.p.l^2.k$
6	0,565	$0,565.a.p.l^2.k$
5	0,563	$0,563.a.p.l^2.k$
4	0,562	$0,562.a.p.l^2.k$

İki mesnetten oluşan blok için desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarına göre alınması önerilen Katsayı1 değerleri ve minimum mukavemet momenti ifadesi şu şekildedir

Tablo 5.2 İki Mesnetli Blok İçin Çeşitli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranlarında Önerilen Katsayı1 ve Mukavemet Momentleri

Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu	Katsayı1	$W_{\min}$
10	0,526	$0,526.a.p.l^2.k$
8	0,524	$0,524.a.p.l^2.k$
6	0,523	$0,523.a.p.l^2.k$
5	0,522	$0,522.a.p.l^2.k$
4	0,520	$0,520.a.p.l^2.k$

Üç mesnetten oluşan blok için desteklenmeyen boy/braket boyu oranlarına göre alınması önerilen Katsayı1 değerleri ve minimum mukavemet momenti ifadesi şu şekildedir

Tablo 5.3 Üç Mesnetli Blok İçin Çeşitli Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu Oranlarında
Önerilen Katsayı1 ve Mukavemet Momentleri

Desteklenmeyen Boy/Braket Boyu	Katsayı1	$W_{\min}$
10	0,518	$0,518.a.p.l^2.k$
8	0,515	$0,515.a.p.l^2.k$
6	0,513	$0,513.a.p.l^2.k$
5	0,511	$0,511.a.p.l^2.k$
4	0,508	$0,508.a.p.l^2.k$

KAYNAKLAR

- [1] **Bayraktarkatal, E.**, 1995. Gemi Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması İçin Gerilme Analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Ojeda, R., Gangadhara, P. And Salas, M.**, 2004, Finite Element Investigation On The Static Response Of A Composite Catamaran Under Slamming Loads, *Ocean Engineering*, **31**, 901-929.
- [3] **Ergin, A., Bayraktarkatal, E. Ve Ünsan, Y.**, Mayıs 2000, Sonlu Elemanlar Metodu Ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları, Seminer Kitabı, Sayfa 1- 89, İstanbul (Türk Loydu Vakfı ve İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi)
- [4] **Özdemir, P.**, 1987. Fotoelastisitede Sınır Eleman Yöntemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Özütok, A.**, 1992. Fotoelastisitede Sınır Eleman Yönteminin Ayırma Metodu Olarak Kullanılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Ayatollahi, M.R. And Safari, H.**, 2003, Evaluation Of Crack Tip Constraint Using Photoelasticity, *International Journal Of Pressure Vessels And Piping*, **80**, 665-670.
- [7] **Xu, R., Sengupta, S. And Kuai H.**, 2004, An Experimental And Numerical Investigation Of Adhesive Bonding Strengths Of Polymer Materials, *International Journal Of Adhesion And Adhesive*, **24**, 455-460.
- [8] **Joussineau, G., Petit, J.P. And Gauthier, B.D.M.**, 2003, Photoelastic And Numerical Investigation Of Stress Distribution Around Fault Models Under Biaxial Compressive Loading Conditions, *Tectonophysics*, **363**, 19-43.
- [9] **Frocht, M.M.**, 1941. Photoelasticity, John Wiley And Sons, Newyork
- [10] **Ünsan, Y.**, 2001. Fotoelastisite Yöntemi, Lisans Ders Notları, www.gidb.itu.edu.tr/staff/unsan/D/leg/lab/not/fe.pdf, s.1-4.
- [11] **Chandrupatla, T.R. And Belegundu, A.D.**, 1991. Introduction To Finite Elements In Engineering, Prentice-Hall, London.

- [12] **Kitamura, O.**, 2002, FEM Approach To The Simulation Of Collision And Grounding Damage, *Marine Structures*, **15**, 403-428.
- [13] **Kumar, Y.V.S. And Mukhopadhyay, M.**, 2000, Finite Element Analysis Of Ship Structures Using A New Stiffened Plate Element, *Applied Ocean Research*, **22**, 361-374.
- [14] **Damhaug, A.C., Reid, J. And Bergseth, A.**, 1999, The Impact Of An Efficient Linear Solver On Finite Element Analyses, *Computers and Structures*, **72**, 595-604.
- [15] **Lee, K.Y., Kim, I.I. And Chou D.Y.**, 2003, An Algorithm For Automatic 2D Quadrilateral Mesh Generation With Line Constraints, *Computer-Aided Design*, **35**, 1055-1068.
- [16] **Hu, S.Z. And Jiang, L.**, 1998, A Finite Element Simulation Of The Test Procedure Of Stiffened Panels, *Marine Structures*, **11**, 75-99.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Karabük'te doğan Murat Özkök, 1996 yılında Karabük Demir-Çelik Lisesinden mezun oldu. 1996 yılında K.T.Ü. Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2000 yılında iyi dereceyle mezun olduktan sonra, 2002 yılında K.T.Ü. Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı sene İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümüne naklen ataması yapıldı. Halen aynı üniversitede göreve devam etmektedir.