ÖNS ÖZ

Yüksek lisans bitir me tezi olarak "Kren Köprülerinin Katı Modelle mesi ve Sonlu Ele manlar Met oduyla Statik Analizi" konulu çalış mayı hazırladı m Tez çalış ma mda ilk olarak krenler hakkında bilgi topladı m Kren köprü tiplerini ve kutu kiriş konstrüksiyonu için hesap esaslarını tez çalış ma mda belirtti m Ayrıca sonlu ele manlar met odu ile ilgili te mel kura mlar, kutu kiriş konstrüksiyonunun sonlu ele manlar met oduyla statik analizi, katı modelleme teknikleri ve kren köprüsünün katı modelini tez çalış mamda belirtti m

Bu çalış ma mda öncelikle bana teknik ve araştırma konularında yardı mcı olan tez danış manı m Doç. Dr. C Er de m İ MRAK'a, kren köprüleri konusunda bana yardı mcı olan CESAN Vinç A Ş'ye, sonlu ele manlar yönte mi konusunda bana yardı mcı olan Bİ AS Mühendislik A Ş'ye teşekkür ederi m

OCAK, 2004

Coşkun ALKI N

İ Çİ NDE Kİ LER

Ö İ (KI T A Ş I S I Ö Z S I	ÖNS ÖZ İ Çİ NDEKİ LER KI SALT MALAR TABLO Lİ STESİ ŞEKİ L Lİ STESİ SEMBOL Lİ STESİ ÖZET SUMMARY	
1.	CÍ RÍ Ş	1
2.	KATI MODELLE ME	3
	2.1. Sinir (BRep) Cösteri mi	7
	2.2 Konstrüktif Katı Geometrisi	8
	2.3. Süpür me (Sweep) Gösteri mi	9
	24. Analitik Katı Modelle me	10
3.	SONLU ELE MANLAR METODU	11
	3.1. Griş	11
	3.2 Sayısal Met odlar	11
	3.3. Sonl u He manl ar Met odu	12
	3.3.1. Met odun adımları	14
	332 Heman rijitlik matrisi	16
	3.3.3. Rijitlik matrisinin türetil mesi	17
	3.3.4. Yer değiştirme fonksi yonu	19
	3.3.5. İsopara metrik dörtgen ele man	23
	3.4. İki Boyutlu Modelleme	31
4.	KÖPRÜLÜ KRENLERİ N KONSTRÜKSİ YONU ve HESAP ESASLARI	34
	4.1. Kaldırma Makinalarının Sınıflandırılması	35
	4.1.1. Sistemsiniflandir masi	35
	4.1.2 Kullanı msınıflandır ması	35
	4 1.3. Yük dağılı m	36
	4.1.4. Kaldırma makinalarının grup sınıflandırması	37
	4.1.5. Kaldırma makinalarının sınıflandırması	37
	4 2 Yükleme Tiplerinin Siniflandırıl ması	38
	4 2 1. Yükl e meni n H hali	39
	422 Yüklemenin HZ hali	39
	4.2.3. Yüklemenin HS hali	39
	$4.2.4$ Yükle me katsayısının " γ_c " seçil mesi	40
	4.2.5. Kaldırma yükü katsayısının "ψ" seçilmesi	40

4.3. Çift Kirişli Köprülü Krenler ve Hesapları	41
43.1. Çft kirişli köprülü krenin kiriş konstrüksiyon esasları	42
4.3.2 Kutu kirişlerde eğil me atalet ve mukave met momenti	42
4.4 Kron Kriginda Normal Cari and ar va Ubaanlar	15
4.4. N en Nnsinde Norman Cennerer ve nesapran	43
4.4.1. Nien oz agrii gindan oluşan gerii ne σ_1	40
4.4.2 Arabani n oz agirli gindan oluşan gerilme " σ_2 "	4/
4.4.3. Kaldır ma yükünden oluşan geril me " σ_3 "	49
4.4.4. At all et kuvvet lerinden oluşan geril me " σ_4 "	50
4.4.5. Araba kasılması sonucu oluşan gerilme "05"	53
4.5. Kren Kırişindeki Kayma Ceril mesi "τ _{op} "	55
4 5.1. Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsiyon gerilmesi " τ "	55
4.5.2 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme geril mesi " τ_k "	57
46 Statik Kontrol İçin Emniyetli Mukave met Değeri" o _{EM} "	60
47. Dinamik Kontrol İçin Enniyetli Mukavemet Değeri	60
48 Kren Kırişindeki Çentik Gubu	64
49. Yan Levhaların Buruş maya Karşı Kontrolü	65
4.10. Üst Kuşak Levhalarının Buruşmaya Karşı Kontrolü	66
411. Çft Krişli Köprülü Kren Hesap Örneği	68
4.11.1. Kren grubunun seçil mesi	69
4 11. 2 Yükle me tipinin belirlen mesi	69
4 11. 3. Yükselt me kat sayı sı nı n " γ_c " seçil mesi	69
4.11.4. Kaldırma yükü katsayısının "ψ" seçil mesi	69
4.11.5. Köprütipinin belirlen mesi	69
4 11.6. Kut u kirişin eğil me atalet ve mukave met momentinin hesaplan ması	70
4.11.7. Kıriş seçimi ve hesabı	70
4.12 Kren Kırişindeki Normal Geril melerin Hesaplanması	73
4 12.1. Kren öz ağırlığından oluşan geril me "o _l "	73
4 12.2. Arabanın öz ağırlığından oluşan geril me "oz"	74
4 12.3. Kal dır ma yükünden oluşan geril me "o ₃ "	74
4 12.4. Atalet kuvvetlerinden oluşan geril me "o ₄ "	74
4 12 5. Araba kasıl ması sonucu olusan gerilme "cs"	75
4 12 6. Maksi mum ve mini mum geril mel erin hesaplan ması	75
4 13. Kiriste Meydana Gelen Kayna Geril melerinin Hesaplan ması	76
4 13 1 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsivon geril mesi "τ"	76
4 13 2. Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi "Tr"	77
4 13 3 Kristeki toplam kay mageril mesi	77
4 14. Kren Kirisindeki Bleske Ceril meler	78
4 15 Nor mal Bas ma Geril melerinin Hesaplanması	78
4 15 1 Kren öz ağırlığından oluşan gerilme "Gıb"	78
4 15 2 Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme "Gp"	78
A 15.3 Kaldır me yükünden oluşan geril me "cen"	70
4 15.4 At a let lawaet lerinden dusan geril me "ga"	70
4 15.5 Araba kagi mga genyau dugan gorilmo "g	70
4 15.5. A aba kash hasi sonucu o uşan gerilme σ_{5B}	79 70
4 15. U Ivansi num ve mmi num geni nereni nesapi annasi A 16. Bileske Basma Geril masi	70 70
-10 Diregie Das na Control	17 20
4.18 Van Levhalarin Burus maya Karsi Kontrolü	- 00 - 20
4.19 İst Levhanın Burus maya Karsı Kontrolü	82
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	04

5. YAPI LAN ÇALI Ş MALAR	84
5.1. Kren Köprüsünün Katı Modellenmesi ve Katı Hemanların Gösterimi	84
5.1.1. Üst plakanın katı modelle mesi	84
5.1.2 At plakanın katı modelle mesi	85
5.1.3. Yan levhanın katı modelle mesi	86
5. 1. 4. Per denin katı modelle mesi	86
5. 1. 5. Kren köprüsünün katı model gösteri mi	87
5.2 Sonl u He manl ar Met odunun Köprül ü Krene Uygul an ması	88
5.2.1. Krenin yüzey modelle mesi	88
5.2.2. Kren yüzeyinde ağ (næsh) oluşturul ması	89
5.2.3. Sinir değerlerin modele uygulanması	90
5.2.4. Ceril ne sonuçları	91
5.2.5. Yer değiştir me sonuçları	95
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİ RMELER	97
7. KAYNAKLAR	
EKLER	
ÖZ GEÇ M Ş	

KI SALT MALAR

AKM	: Analitik Katı Modelleme
CS G	: Konstrüktif Katı Geometrisi
B- REP	:Sinir Modelleme
CAD	: Blgisayar Destekli Çizim
FEM	: Sonlu Hemanlar Metodu

TABLO Lİ STESİ

<u>No</u>		<u>Sayf a</u>
Tabl o 4 1.	Krenleriçin toplam kullanım süresi	35
Tablo 42	Yük dağı mfaktörütablosu	37
Tablo 43	Kaldırma makinalarının grup sınıflandırması	37
Tablo 44	Kal dır ma maki nalarının sınıflandırıl masında rehber tablo	38
Tablo 45	Kaldırma grubuna göre yükseltme katsayısı	40
Tablo 46	Köprü malze mesiiçin emniyetli mukave met değeri	. 60
Tablo 47.a	κ = 1 için malzemenin emniyetli mukavemet değeri	62
Tabl o 4, 7. b	κile bağlantılı malzemenin üst mukavemet değeri	63
Tabl o 4 8	İdeal flambaj gerilmeleri için hakiki flambaj gerilme değerleri	. 67

ŞEKİ L Lİ STESİ

	Say	fa No
Şekil 21	Katı modelin farklı şekiller de ol uşturul ması	4
Şekil 2.2	En yaygın piri mitifler	5
Şekil 2.3	Bir katı ya ait yarı muzay gösteri mi	7
Şekil 2.4	Sınırlanmış ve sınırlanmamış pirimitifler	8
Şekil 2.5	Katı ve katıyı oluşturan piri nitifler	9
Şekil 2.6	Süpürme çeşitleri	10
Şekil 3.1	El e man sayısının art masının çözümün hassasi yetine et kisi	12
Şekil 3.2	Problem geometrisinin sonlufarklar ve sonluelemanlar	13
Şekil 3.3	Li neer di kdört gen el e man	20
Şekil 3.4	He manın fiziksel koordinatlara eşlen mesi	24
Şekil 3.5	8-düğü m noktalı izoparametrik sonlu ele man	26
Şekil 3.6	Gauss Kareleştirme için optimum örnekleme noktası konumu	30
Şekil 3.7	8-düğüm noktalı ele man için örnekle me noktaları	30
Şekil 3.8	İki boyutlu katı geometrisi	31
Şekil 3.9	La melli kanca (Düzlem gerilme hali)	32
Şekil 3.10	Baraj duvarı (Düzlembiri mşekil değiştir me)	33
Şekil 4.1	Keenlerin sınıflandırıl ması	34
Şekil 4.2	Yük dağılı mgrafiği	36
Şekil 43	Kaldırma yükü katsayısı	41
Şekil 4.4	Çft kirişli gezer köprülü kren gösterimi	41
Şekil 4.5	Kut u kiriş konstrüksi yonu	42
Şekil 4.6	Kutu kirişlerde eğilme atalet ve mukave met momenti kesiti	43
Şekil 4.7	Köprülü kren kirişi ve kirişe etkiyen kuvvetler	45
Şekil 4.8	Kırişin öz ağırlık momentinin dağılımı	46
Şekil 49	Arabanın öz ağırlık momentinin kirişteki dağılım	47
Şekil 4.10	Kaldırma yükü öz ağırlık momentinin kirişteki dağılımı	49

Şekil 4.11	Kiriş üzerindeki atalet kuvvetleri	51
Şekil 4,12	Araba kasıl ması sonucu oluşan kuvvetler	53
Şekil 4.13	Kriş kesiti	56
Şekil 4.14	Bredt'in ortalama alantanımı	57
Şekil 4.15	Bredt'e göre ortalama kiriş kesiti	57
Şekil 4.16	Kes me kuvvetlerinin kiriş üzerindeki dağılı mu	58
Şekil 4.17	Kes me kesiti $A_{\mathbf{k}}$	58
Şekil 4.18	$\sigma_{D(-1)EM}$ değeri ile $\sigma_{D(\kappa)EM}$ değeri arası ndaki bağıntı	62
Şekil 4.19	K di kişi ve kaynak di kiş tipleri	64
Şekil 4.20	Kiriş yan levhasındaki geril meler	65
Şekil 4.21	Kiriş üst levhasına etkiyen geril meler	66
Şekil 4.22	Çift kirişli köprülü kren	68
Şekil 4.23	Kut u kiriş hesap ölçül eri	70
Şekil 5.1.1	Üst plaka kesiti ve ölçüleri	84
Şekil 5.1.2	Üst plaka katı modeli	84
Şekil 5.1.3	Alt plaka kesiti ve ölçüleri	85
Şekil 5.1.4	Alt plaka katı modeli	85
Şekil 5.1.5	Yan levha kesiti ve ölçüleri	85
Şekil 5.1.6	Yan levha katı modeli	86
Şekil 5.1.7	Per de kesiti ve ölçüleri	86
Şekil 5.1.8	Per de katı modeli	86
Şekil 5.1.8	Kren köprüsü katı modeli	87
Şekil 5.1.9	Kren köprüsünün wireframe olarak görünüşü	87
Şekil 5.2	Kren köprüsü yüzey modeli	88
Şekil 5.3	Yüzeyde ağ ol uşturul ması	89
Şekil 5.4	Ağı n detay görünüşü	89
Şekil 5.5	Sınır değerlerin kren köprüsüne uygul anması	90
Şekil 5.6	Geril me analizi sonuçları	91
Şekil 5.7	Geril me analizi sonuçları	92
Şekil 5.8	Alt levhaya et kiyen gerilmel erin göst eri mi	93
Şekil 5.9	Per de üzerindeki geril melerin analiz sonucu gösterimi	94
Şekil 5.10	Kirişte meydana gelen yer değiştir meler	95
Şekil 5.11	Kirişteki yer değiştir melerin alttan görünüşü	96

SEMBOL LİSTESİ

Fy	: Kaldırma yükü
VH	: Yük kaldırma hızı
$\mathbf{L}_{\mathbf{K}}$: Köprü açı klığı
VA	: Araba hızı
FA	: Araba öz ağırlığı
VF	: Kren hızı
LA	: Araba tekerlek aks açıklığ
n _{Rad}	: Tekerlek sayısı
Ε	: Hastiste modül ü
V _{St}	: Poisson orani
n _{max}	: Maksi mum yük kaldırma sayısı
k р	: Yük dağılı mfaktörü katsayısı
γc	: Yükselt me katsayısı
ψ	: Kaldırma yükü katsayısı
F _{Tek}	: Tekerleğe et ki yen yük
J _{xerf}	: Atalet momenti
B ₁	: Kıriş üst plaka genişliği
B ₃	: Kıriş alt plaka genişliği
\mathbf{t}_1	: Üst plaka kalınlığı
t ₃	: At plaka kalınlığı
\mathbf{t}_2	: Yan plaka kalınlığı
h_2	: Yan plaka yüksekliği
b _R	: Ray genişliği
h _R	: Ray yüksekliği
A	: Üst plaka alamı
A_2	: Yan plaka alanı
$A_{\mathbf{R}}$: Ray al am
A _{Top}	: Topl am kiriş alanı
X,	: Ağırlık merkezinin xeksenine mesafesi
Y _s	: Ağırlık merkezinin yeksenine mesafesi
I _x	: Xekseni ne göre atal et mo menti
$\mathbf{I_y}$: Yekseni ne göre atalet mo menti
I _{x Top}	: Xekseni ne göre toplam atalet momenti
I _{y Top}	: Yekseni ne göre topla matalet momenti
Wx	: Xekseni ne göre mukave met momenti
Wy	: Yekseni ne göre mukave met momenti
σι	: Kren özağırlığından oluşan geril me
M	: Kırişteki yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti
F _{AK}	: Kırışteki yayılı kuvvet
q _K	: Kırış biri mağırlık kuvveti
g	: Yerçeki mi ivmesi

σ_2	: Araba özağırlığından oluşan geril me
FTAA	: Her bir tekerleğe etkiyen araba ağırlık yükü
M	: Araba ağırlığından ileri gelen eğilme momenti
σ_3	: Kaldır ma yükünden oluşan geril me
F _{TY}	: Her bir tekerleğe etkiyen kaldır ma yükü
M	: Kaldır ma yükünden ileri gelen eğilme momenti
M	: Atalet kuvvetlerinden ileri gelen moment
K _{₹1}	: Sürt ün me kuvveti
σ_4	: Atalet kuvvetlerinden oluşan gerilme
φ	: Öz ağırlık katsayısı
FATH	: Araba kasıl ması sonucu oluşan yatay kuvvet
Mg	: Araba kasıl masından ileri gelen moment
σ	: Araba kasıl ması sonucu oluşan geril me
\mathbf{k}_{λ}	: Yatay yük katsayısı
$\mathbf{F}_{\mathbf{T}\mathbf{D}}$: Tekerlekteki dik kuvvet
Ն _{ե օբ}	: Toplam kay ma geril mesi
τ _t	: Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen burul ma gerilmesi
$ au_{\mathbf{k}}$: Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me gerilmesi
M	: Torsi yon momenti
W	: Torsi yon mukave met momenti
A_m	: Kiriş ortalama alanı
F _{k max}	: Matksi mum kes me yükü
A _k	: Kriște kesil me et ki sinde kal an al an
$\sigma_{\rm EM}$: Statik kontroliçin e miyetli mukave met değeri
κ	: Sinir değer oranı
σ _D (-1) EM	: κ=-1 değeri için mal zemenin e miyetli mukavemet değeri
σ_{max}	: Matksi mum geril me
σ _{nin}	: Mini mum geril me
$\sigma_{\rm V}$: Bleşke geril me
σ _{Dz (κ)} EM	: Sürekli dinamik emiyetli çekme gerilmesi
σνη	:İdeal flambaj gerilmesi
σ _{Pi}	: Yan levhadaki i deal flambaj nor mal geril mesi
ď	: Euler geril mesi
kσ	: Bur uş ma kat sayı sı
k,	: Kay ma bur us ma kat sayı sı
$\dot{\mathbf{L}}_{\mathrm{pe}}$: Perdel er arasi mesafe
σνρ	: Cercek flambaj geri mesi
~ 11	

ÖZET

KREN KÖPRÜLERİ NİN KATI MODELLE MESİ ve SONLU ELE MANLAR MET ODUYLA ANALİ Zİ

Coş kun ALKI N

Bu çalış mada, bir kaldır ma maki nası olan krenler hakkı nda bilgi edinil miş, çift kirişli kren köprüleri hakkı nda araştır ma yapıl mıştır. Kiriş konstrüksi yonları incelen miş ve seçilen kutu kiriş konstrüksi yonu için hesap esasları FEM ve DIN nor mları na göre uygulan mıştır. Belirlenen kutu kiriş konstrüksi yonun Solid Works 2003 isimli bir bilgisayar destekli konstrüksi yon paket programında katı modeli oluşturul muştur. Katı modeli oluşturulan kren köprüsünün belirlenen sınır şartları doğrultusunda Mic. Patran programında sonlu ele manlar metoduyla analizi yapıl mıştır. Yapılan analiz sonucu elde edilen değerler hakkında değerlendir meler yapıl mıştır.

Anahtar Kelimeler: Kren, Kiriş, Sonlu ele manlar metodu Bilim Dalı Sayısal Kodu: ABSTRACT

SOLI D MODELI NG OF OVERHEAD CRANE'S BRIDGE AND ANALYSE WITH FIN TE ELEMENT METHOD

Coş kun ALKI N

In this study, informed about cranes which is one of the lifting machines, researched about overhead crane's bridge, is double beam Studied on beam construction and calculation methods calculated by using FE Mand DIN normes for the choosen box girder. After that solid modeling of box girder was generated by the CAD packet program that name is Solid Works 2003. Later finite element analysis done with Msc. Patran for generated solid model. Boundary conditions are applied before the analyse. After analyse result prints and documentations are concluded.

Keywords: Grane, Beam, Finite Hements Method Science Code:

1. CİRİŞ

Çi ft kirişli köprülü krenler, yükleri yalnız kaldırma kla kal mayıp onları yatay olarak da hareket ettiren iş veya tesir alanları geniş kaldırma makinalarıdır. Bu krenler, fabri kalarda, a nbarlarda (kapalı veya açık), enerji santrallerinde (montaj ve revizyon işlerinde) vb kullanılır.

Çift kirişli köprülü krenler, yüksekte bulunan raylar üzerinde hareket eden arabalı köprülerden ibarettir. Araba yükleri kaldırır veya indirir ve köprü boyunca taşır. Köprü, yükleri kren yolu boyunca götürür. Bu suretle, yükün birbirine dik üç doğrultuda hareket et me i mkanı doğar.

Bölüm 2'de katı modelleme ve katı modelleme teknikleri konularında araştırma yapılmıştır. Mevcut olan bir çok katı modelin hangi katı modelleme tekniğiyle oluşturulduğu ve kren köprüsünün hangi katı modelleme tekniği ile modelleneceği bu araştırma çerçevesinde incelen miştir.

Bölüm 3' de sonlu ele manlar met odu ve sonlu ele manlar met oduyla yapılan analiz tipleri incelen miştir. Sonlu ele manlar yönte miyle yapılan analiz basa makları ve hazır paket programları araştırıl mıştır. Bu çalış ma doğrultusunda static analiz ve esasları, modeli sonlu ele manlara ayıran ele manlar ve kullanıldığı yerler konularında bilgi edinil miştir.

Bölüm 4' de çift kirişli köprülü krenler ve köprütipleri hakkında araştır ma yapıl mış, CESAN Vinç A Ş' den kutu kiriş konstrüksi yonu hakkında teknik destek alın mıştır. Ayrı ca güncel FEM (Federation de la Europan) ve DIN nor mları esas alınarak hesap esasları oluşturul muştur.

Bölüm 5'de belirlenen hesap esaslarına uygun olarak bir örnek hesaplama yapıl mıştır. Yapılan bu hesaplama doğrultusunda bulunan değerler ile kutu kiriş konstrüksiyonu oluşturulmuştur. Kutu kiriş ölçüleri kullanılarak kren köprüsünün katı modeli oluşturul mıştur. Katı modelle me yapılırken kren köprüsünün hesapsal ölçüleri bire bir esas alınmıştır. Katı modeli oluşturulan kren köprüsünün belirlenen sınır şartlar altında sonlu ele manlar yönte mi ile statik analizi yapıl mıştır. Analiz yapılırken kren yüzey olarak modellen miş ve sonlu ele man olarak quadratik ele man kullanıl mıştır. Böylece gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edil miştir. Gerilme ve yer değiştir me değerleri değerlendiril miştir.

Yapılan tez çaıl ması na benzer olarak "Dolu gövdeli köprülü kren ana kirişinin farklı yük konumlarındaki gerilme analizi", "Köprülü vinçler de kirişlere etki eden gerilmelerin incelen mesi", "Exa mination of the motion resistance of bridge cranes", "Application of 3D solid modeling and si mulation programs to a bridge structure" isi mli çalış malar yapılmıştır.

"Dol u gövdeli köprül ü kren ana kirişinin farklı yük konumlarındaki gerilme analizi" isimli çalış ma Doç. Dr. Mine Demirsoy tarafından yapılmıştır. Bu çalış mada belirlenen hesap öl çül eri doğrultusunda kren köprül erinin katı modelle mesi yapılmış ve farklı yük konumlarında sonlu ele manlar metoduyla analizi yapılmıştır. Köprül ü krenin analizinde tetrahedral ele man kullanılmıştır.

"Köprülü vinçlerde kirişlere et ki eden geril melerin incelen mesi" isi mli çalış ma Yrd. Doç. Serpil Karakuş ve Prof. Dr. Mıstafa Alışverişçi tarafından yapılmıştır. Bu çalış mada kren köprüleri konstrüksiyon esasları ve meydana gelen geril melerin hesapları FEM ve DIN nor mlarına uygun olarak yapıl mıştır.

"Exa mination of the motion resistance of bridge cranes" isi mli çalış ma Doç. Dr. M ne De mirsoy'un doktora tez çalış masıdır. Bu çalış mada farklı kutu kiriş konstrüksi yonları için farklı yükle meler yapılmıştır ve sonlu ele manlar met odu kullanılarak geril me ve yer değiştir me değerleri için grafikler elde edil miştir.

"Application of 3D solid modeling and si mulation programs to a bridge structure" isi mli çalış ma P. Kettil ve N E Wilberg (Chalmers Teknik Üniversitesi, İsviçre) tarafından yapıl mıştır. Bu çalış mada köprü yapıları için katı modelle me tekniklerinden ve yapıların belirlenen yük altında sonlu ele manlar met odu kullanılarak analizi yapılmıştır. Ancak köprüler yüzey model olarak modellen miş ve sonlu ele man olarak quadratik ele man kullanıl mıştır.

2. KATI MODELLEME

Katı modelle me teknikleri ta ma mıyla bilgilendir me üzerine kurul muştur. Yani nesnelerin tereddütsüz şekilde gösteri mini sağlar. Basitçe nesnenin üzerinde, içinde ve dışında olan bir noktanın konu munun verilebil mesi olarak düşünülebilir. Eğer modelle me tekniği ile ta m olarak tanımlama, geçerlilik ve tereddütsüzlük sağlana maz ise kullanıcı devreye girerek modelle me ile etkileşi mde bulunarak modelin yapılandırıl masını gerçekleştirebilir. Tereddütlü modeller, kütle özellikleri hesaplarında, sonlu ele man modelle mesinde, BDİP'da(CAPP-computer ai ded process planning-bilgisayar destekli işlem planlama) ve sayısal kontrol (NO) programla mada kullanılamazlar [1].

Katı modelleyiciler tel kafes ve yüzey (geometri) modelleyiciler den daha fazla bilgi (geometrik ve topolojik) saklarlar. Tel kafes ve yüzey modellere göre daha avantajlı ol malarına rağmen bazı sınırla malar vardır. Katı tanı mından ne diğer modellerin otomatik olarak yaratılması ne de diğer modellerin yaratıl masında kullanıl mış verilerin otomatik olarak katı modelin yaratıl masında kullanıl ması mümkün değildir. Buna ek olarak büyük ölçekli imalat uygulamalarında katı modelleme tercih edil mektedir. Kapla ma ve hesapla maların yavaş ol ması gelişen teknoloji ile proble m ol maktan çıkmaktadır. Katı modelleme haci msel modelleme olarak da anılmaktadır.

Geçerli BDK/BDİ sisteminde katı modeller yarat mak için kullanıcı tarafından veri girişi yapıl malıdır. Örnek olarak B-rep (boundaryrepresentation-sınır gösteri mi) veri gösterimine sahip bir sistem CSG (constructive solid geometry-konstrüktif katı geometrisi) temelli kullanıcı bağlantısı sağlanabilir. Yani model primitif objelerden oluşturulabilir. Kullanıcı bağlantısı olarak çoğu sistemblok-yapısı yaklaşım (CSG) ve süpürme (sweep) işlemleri kullanıl maktadır [1].

Bir nesnenin katı modeli, yüzey model gösteri minden daha kar maşıktır. Topolojik ve geometrik bilgiler daha sonraki kütle özelliklerinin hesabı, sonlu elemanlar ağ üret me gibi işlemlerin otomatik olarak yapıl masında kullanılabilir. Bunda teorik olarak kullanıcının doğrudan bir katkısının ol madığı düşünülebilir. Katı modelle me ile bir nesnenin tanı mlan ması eğri, yüzey ve katı gibi tekniklerin kullanıl ması ile çok kolay olarak yapılabil mektedir. Bazı durumlarda katı modeller tel kafes veya yüzey modelle meden daha basit ve kolay ol maktadır.

Katı modeller otomasyon ve integrasyon maksatları için kullanılacak ise kusursuz ol malıdırlar. Kavramsal konstrüksiyon aşamasında kusursuz modele ihtiyaç ol madığından bu modellere analiz ve uygulama algoritmalarında ihtiyaç duyul maktadır. Modelin doğruluk ve hızı, kullanılan gösteri mşe masına ve kullanılan veritabanında saklanan verilere bağlıdır. B-rep modelleyiciler genel şekilleri daha iyi sunarken daha fazla işlem zamanı gerektirmekt edirler. CSG modelleyiciler yapılandır ma açısından daha basit ve ekranda görünt üle me açısından daha uygundur. Fakat kar maşık bir şeklin tanı mlan masında zorluklar olabilir.

Katı modeller tam ve tereddütsüz ol malarına rağmen tek bir çözüm yoktur. Bir nesne çeşitli yollarla yapılandırılabilir. Şekil 2.1'de çeşitli primitiflerin topla ma ve çıkar ma işlemleri yardı mıyla modelle me işlemi gösteril miştir.



Şekil 2 1 Katı modelin farklı şekillerde oluşturul ması

Çoğu ti cari katı modelleme paketleri CSG uyu mludur. Kullanı cının blok yapılarının (pri mitifler di ye adlandırılır) kullanıl masına i mkan sağlar. Pri mitifler basit te mel şekiller olup mate matiksel boolean işle mleriyle bir araya getiril meleri ile kompleks katı modeller oluşturul abilir [1].

Bazı paketler ise süpür me (sweep) işlemleri ile katı model oluştur maktadır. Bunun için katının yüzeyleri oluşturulur ve daha sonra süpür me işlemleri ile katı model oluşturulur.

Çok çeşitli primitif nesneler ticari olarak kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılanlar blok, silindir, koni ve kürelerdir. Düzlemler, silindirler, koniler ve küreler dördüncü doğal kuadrik elemanı göstermektedir [2].

Yaygın şekilde kullanılan pri mitifler aşağıda verilmiştir;

- Blok: Genişliği, uzunluğu ve derinliği gibi geometrik verileri verilmiş kutudur. Şekil 4.2'de yerel koordinat sistemi X_L, Y_L, Z_L gösterilmiştir. P noktası X_L, Y_L, Z_L sisteminin orijin noktasıdır. W H ve D kutunun relatif konumunu koordinat sistemine göre tanımlar.
- 2. Silindir: Bu pri mitif R yarıçap ve H boyu ile tanı mlan mıştır. H genellikle Z_L ekseninde alınır ve negatif ya da pozitif olabilir.
- 3. Koni: Taban yarıçapı R ve yüksekliği H olan bir primitiftir. Eğer kesik koni oluşturul acaksa üst yarıçap veril melidir.
- Küre: Yerel koordinat sistemine göre bir merkez noktası ve verilen yarıçap ya da çapiletanı mlanır.
- 5. Üçgen Kama: Yüksekliği H, genişliği W ve taban derinliği Dile tanı mlanan bir geometrik şekildir.
- Si mit (Torus): Çe nberin düzle mde kalarak bir eksen etrafında döndürülmesi ile oluşan şekildir. R₁ (si mitin yarıçapı), R₂ (si mit gövdesinin yarıçapı) ile tanı mlar. Si mitin iç yapı R ve dış çap R₀ dır.



Şekil 221. En yaygın pirimitifler



Şekil 222 En yaygın piri mitifler

İki ya da daha çok primitifi biraraya getirilerek istenen katı oluşturulabilir. Sonuç katının geçerliliği boolean işlemleri ile sağlanır. Birleştir me (\bigcirc veya +), kesişi m(\bigcirc veya I) ve fark (-) işlenleri boolean işlemleri ile gerçekleş mektedir. Birleştir me operatörü iki nesne yada primitifi bir araya getir mek için kullanılar. Kesişi m operatörü ise iki nesnenin ortak hac mini bularak bu kesişi mkü mesi ile ifade edilen yeni nesneyi tanı mlar. Fark operatörü ise bir nesneden bir başka nesneyi çı kararak yeni bir nesne el de edil mesini sağlar.

Bilgisayarda ve mühendislik uygula malarında katı model gösteriminin başarısı bu modellerin şema gösteriminin başarısına bağlıdır. Katı modelleme teorisi, gerçek nesnenin matematiksel bir model gösteriminitanınlar. Katı modellerin matematiksel özellikleri aşağıdaki gibi verilebilir [2].

1. Rijitlik, Katı modelin şekli, modelin uzaydaki konumuna veya oryantasyonuna bağlı ol ma malıdır.

2. Homojen üç boyutluluk; Katı sınırları iç bölgeye temas etmelidir. Uyuş mayan, sarkan yüzeyler ve kenarlar ol ma malıdır.

3. Sonluluk ve tanı mlanabilir sonluluk; Sınırlı sayıda bilgi ile katının boyutları belirlenebil melidir. Çünkü bilgisayarın kapasitesi sınırlıdır. Örnek olarak, sonlu yarıçap ve yükseklilikle tanı mlanabilen bir silindir, sonsuz sayıda düzlemsel yüzeyle tanı mlanabilir. 4. Katı hareketler ve düzenli boolean operasyonları ile model oluştur ma; Katıları uzayda hareket ettirerek, çeşitli maniplasyonlar yapmak veya boolean operasyonları ile yeni geçerli nesneler yaratılabil meli.

5. Sınır belirleme; Katının sınırları katıyı içermeli ve katının iç bölgesini belirleyebil melidir.

2.1. Smr(BRep) Gösteri mi

B-rep model veya sınır model, bir yüzey kümesi ile sınırlı fiziksel bir nesnenin topolojikifadesidir. Bu yüzeyler bölgeler veya kapalı yüzeyler alt kümesidir. Kapalı bir yüzey kırıl malar ol mayan sürekli yüzeydir. Sınır modeli ile bir nesenin yüz, kenar ve köşelerinin bir araya getiri mesi ile topolojik olarak modelin geçerliliği garanti altına alınır [1].



Şekil 23 Br katıya ait yarım uzay gösteri mi

Sınır model veritabanı hem topolojiyi hem de geometriyi içerir. Topoloji Euler işlemleri ile yaratılır. Geometri ise Euclid hesapları ile elde edilir. Euler işlemleri primitif CSG modellere ait yüzlerde, kenarlarda ve köşelerde düzeltmeler ve manüplasyonlar yaratmak için kullanılır. Euler işlemleri (boolean işlemleri) sınır modellerin doğruluğu ve bütünlüğünü (kapalılık, uyuş maz yüz ve kenarların ol mamasını) sağlar. Bunlar aynı zamanda modelin geçerliliğini kontrol eden mekanizmalardır. Daha başka geçerlilik kontrolleri uygulanabilir. Geometri köşelerin koordinatlarını, rijit hareket ve transformasyonları (öteleme ve dönme vs.) ve metrik bilgileri ihti va eder. Topoloji ve geometri içiçe geçmiştir ve birbirinden ayrılamaz. İkisi de birbirine uyumlu ol malıdır. Yoksa saçma bir şekil elde edilebilir.

2.2. Konstrüktif Katı Geometrisi

CSG ve B-rep şemaları, fiziksel nesnelerin katı modellerinin yaratıl masında kullanılan en popüler şemalardır. CSG gösterimin az ve öz ol masından söz konusu nesnenin yaratıl ması ve saklan ması çok daha kolaydır. Ayrıca geçerlilik kontrolü de oldukça kolaydır. Fark ve kesişi mişlemleri kolayca yapılabil mektedir [1].

CSG model, fiziksel bir nesnenin pri mitif kümelere bölünerek ve belirli kuralların izlen mesi (boolean işlenleri) ile bu pri mitiflerin bir araya getiril mesi sonucunda oluşturulur. Pri mitifler geçerli CSG modelleri olarak kabul edilebilir. Her pri mitif bir yüzey kümesi ile sınırlanmış ve genellikle kapalıdır. Pri mitif yüzeyleri, sınır değerlendir me işleminden faydalanarak bulunan yüzler, kenarlar ve köşelerin bir araya getiril mesinden oluşur. CSG modeller, B-rep prensip ve topolojik olarak farklıdır. Yüzler, kenarlar ve köşeler ekspilisit olarak hesaplan maz bunun yerine ne za man gereki yorlar ise o za man üretilirler. CSG modeller yüzler, köşeleri ve kenarları yeni den değerlendir mesine karşın konstrüksi yon ve i malat açısından çok uygundur [1].

İki ana CSG şeması vardır. Birinci gruptaki CSG modeller sınırlanmış katı primitiflerini (r-kümeleri) esas alırlar. İkinci grup daha az popüler olup sınırlanmamış yarım uzayları (non r-kümeler) esas alırlar. Sınırlanmış katı primitifler aslında yarım uzayların ve bu primitiflerin sınırlarının karışım olarak düşünülebilir.



Şekil 24 Sınırlanmış ve sınırlanmamış pri mitifler



Şekil 2.5. Tipik bir katı ve bu yapıyı oluşturan pri mitifler

2.3. Süpür me (Sweep) Gösteri mi

Süpür me gösteri mi şe maları iki buçuk boyutlu katı nesnelerin yaratıl masında çok kullanışlıdır. İki buçuk boyutlu nesneler sınıfi, verilen doğrultuda unifor mkalınlık ve asi metrik katıları ihti va eder. Ekst ürize katılar olarak bilinirler, doğrusal ve süpür me işle mieri ile yaratılırlar. Dönel katılar, dönel süpür me ile yaratılır. B-rep ve CSG te melli modelleyicilerle kullanılırlar. Bunun sebebi süpür me teorisindeki eksiklikler ve modelle me alanının sınırlı ol ması dır. Süpür me gösteri mi için genel geçerlilik ve düzgünlük şartları bilin mediğinden bunlar kullanıcı ya bırakıl mıştır. Süpürme, verilen bir yol (patika, doğru) boyunca bir noktanın, eğrinin veya bir yüzeyin hareket ettiril mesi te meline dayanır. Üç çeşit süpür me de kullanılanı yol(patika, doğru) lineer veya çe nbersel olup para metrik denkle mierle verilir. Nonli neer süpür mede ise daha yüksek dereceden bir polinom(kuadratik, kübik, veya daha yüksek dereceden) ile tanı mianır. Kar ma süpür me ise li neer ve/veya nonli neer süpür menin (kü me işlemieri yardı mışla) karışı mından oluşur [1].

Li neer süpür me öteleme ve dönel süpür me olarak ikiye ayrılabilir. (Şekil 2.6 a). Öteleme süpür mede, sı nırlarla tanı mlan mış düzlemsel ve iki boyutlu nokta kü mesi uzayda bir mesafe boyunca dik olarak hareket ettirilir. Nokta kümesi sı nırı kapatıl mış ol malıdır. Aksi takdirde geçersiz katılar (açık küme) el de edilir. Dönel süpür mede, düzlemsel iki boyutlu nokta kü mesi bir eksen etrafında (si metri ekseni) verilen açı da döndür ül mesi ile ol uşur. Şekil 2.6 a. Nonli neer süpür mede ise vekt ör yerine bir eğri kullanılır. (Şekil 2.6 b.) Kar ma süpür mede kü me işlemlerinden faydal anılır. (Şekil 2.6 c.) Şekil 4.6a'da gör ülen nesne kar ma süpür me ile ol uşturulan iki farklı katı birbirine yapıştırıl ması ile el de edil miştir. Geçersiz katılar veya

düzensiz kümeler, süpürme doğrultusunun uygun seçil memesinden kaynaklanabilir. (Şekil 26 d)



Şekil 26 Süpür me çeşitleri

2.4. Analitik Katı Modelle me (ASM)

AKM sonlu ele man modelle meye çok yakındır. AKM sonlu ele man analizi (FEA) için sekizden yir miye kadar noktalara sahip hexahedral ele manların üç boyutlu para metrik isopara metrik for mül asyonun mate matiksel te melini izler. AKM ür eti m maksadından çok gösterim şe ması için kullanıl maktadır. B-rep veya CSG'nin sahip olduğu oryante yüzeyleri içer mezler [1].

Sonlu ele manlar problemlerini çözmek için geliştirilen AKM kütle özelliklerinin hesaplan ması ve ağ yapısı üret me gibi alanlarında kullanıl maktadır.

3. SONLU ELE MANLAR METODU

3.1 Griş

Mühendisler fiziğin yasaları, malzeme ve doğal enerji kaynaklarını kullanarak insanlık yararına mamul ve hizmet üret mektedirler. Bu mamül ve hizmetler günlük yaşamın vazgeçilmez parçalarıdır. Güç iletimi, komünikasyon, veri değerlendirme, nakliye ve imalat mühendisliğin sağladığı mamul ve hizmetlerdir.

Mühendisler bir problemi (fiziksel sistem) ele aldıklarında matematiksel modelleme ile işe başlarlar. Problemdeki fiziksel büyüklükler arasındaki bağ matematiksel ifadelere dönüştürülür. Genel de bu matematiksel ifadeler cebrik, diferansiyel veya integral formdadır. Bu model basit ise analitik çözü mel de edilir. Pratikte karşılaşılan problemlerin matematik modelleri her zaman analitik yöntemlerle kolayca çözü mlenecek tarzda olmaz. Bunun nedeni problemin geometrisinin ve tatbik edilen sınır şartlarının basit olma masıdır. Bu durumda problemi karakterize eden denklemlere tatminkar netice verebilecek sayısal met odlar ile yaklaşılır. Bu şekil de problemi karakterize eden diferansiyel formdaki denklemler lineer denklemlere dönüştürülür. Bunların çözümü de sayısal kompüterle hızlı bir şekil de yapılır.

3.2 Sayısal Metodlar

Sayısal met odların özelliği problemi özellikleri bilinen sonlu sayıda küçük bölgelere ayır maktır. Bu bölgelerin herbirinde incelenen büyüklük arasında bağı ifade eden denklemler tesis edilir. Problemi bu küçük bölgelere ayır mak ve bu parçaları birbirine bağlayacak ifadeleri tesis ederek, çözüm bölgesindeki gerilme ve yer değiştir me (gerilme analizi probleminde) gibi değişkenlerin değerinin tat minkar derecede hesaplan ması mümkündür. Bu bölgeler ne kadar küçük olursa sayısal çözüm oderece gerçek çözüme yaklaşır[3]. Şekil 3. 1'de eleman sayısının art masının çözüme etkisi gösterilmiştir.[4]



Şekil 3.1 Heman sayısının art masının çözümün hassasi yeti ne etki si

Sonlu farklar, sonlu elemanlar ve sınır eleman met otları bilinen sayısal met otlardır. Bilgisayar teknolojisinde gerek yazılı mve gerekse donanı mbakı mından geliş melerle bu met otlar et kin olarak kullanıl maktadır. Yazılımcı fir malar bu met otları esas alan paket programlar geliştir mişlerdir. Bu programlar mühendisliğin farklı disiplinlerindeki analizler için kullanılabil mektedir. ANS YS, MARC, NASTRAN ve ABAQUS modelle me, analiz ve sonuçların grafik değerlendiril mesi bakı mından tercih edilen programlardır.[5]

Sonlu farklar met odunda, diferansi yel denklemlere sayısal yaklaşım fark denklemleri ile sağlanır. Bu prosedürde, koordinat eksenlerine paralel eşit (üniform) arttırımlar ile düğüm noktaları oluşturulur. Her bir artım için fark denklemleri düzenlenir. Düğüm noktaları bir birlerine eşit mesafede yerleştirilir. Heman yoktur ve düğüm noktaları topluluğu arasındaki boşluklara her hangi bir özellik atan maz. Bu özellikler diferansi yel denklemin içinde tanımlan mıştır. Noktaların koordinat eksenlerine paralel ol ması ve sadece eşit aralıklarla artımların yapıl ması kar maşık geo metrili problemlerin modellen mesinde sorun çıkar maktadır. [6]

Sonlu ele manlar met odunda da proble m geo metrisi küçük bölgelere ayrıl maktadır. Fakat bu bölgelerin köşe noktalarının (düğü m noktaları) koordinat eksenlerine paralel ol ma zorunluluğu yoktur. He man şekilleri (proble min 1, 2 veya 3 boyutlu ol masına göre) doğrular, üçgenler, dikdörtgenler, küp v.b şekillerde olabilir. Kar maşı k geo metrili proble mier kolaylıkla modellen mektedir. Proble m geo metrisinde incelenen büyüklüklerin hızlı değiştiği bölgelerde (çentikler, diş dibindeki gerilmeler v.d) eleman yoğunluğu kolaylıkla arttırılabilir. Bu şekilde gerçek fiziksel sisteme tat minkar yaklaşı msağlanır.

Şekil 3. 2' de proble mgeo metrisinin sonlu farklar met odu ve sonlu ele manlar met odu ile modellen mesi görülmektedir. Kar maşık geometri sonlu ele manlar met odu ile tat minkar şekilde modellen miştir. Sonlu ele manlar met odunda çözüm bölgesinde farklı geometrik şekilli ele manlar olabilir.



Şekil 3.2 Problem geo metrisinin sonlu farklar ve sonlu elemanlar næt odu ile gösteri mi

Sınır eleman (Sınır eleman integrasyonu) metodunda problemin diferansiyel denklemleri sınırlarda integral ifadelere dönüştürülür. Bu ifadeler küçük parçalara ayrılmış sınır boyunca sayısal olarak integre edilir. Neticede diğer metodlarda da olduğu gibi lineer denklem seti elde edilir. [3]

3.3 Sonlu Elemanlar Metodu

Sonlu ele manlar met odu mühendislik proble mlerine yaklaşık çözüm elde et mek için kullanılan bir sayısal analiz tekniğidir. Met od 50'li yıllarda Uçak-Uzay endüstrisinde karmaşık yapıların gerilme analizi için geliştirilmiştir. Met odun esasları üzerinde yapılan çalış malar sonucunda kullanım sahası genişle miştir. Günü müzde bi ome kanikten nükleer teknolojiye farklı disiplinler deki proble mlerin çözü münde kullanıl maktadır.

Kompüter teknolojisindeki geliş meler metodun yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Geliştirilen paket programlarla ile veri hazırlanması, çözümle me ve sonuçların değerlendirilmesi kolaylıkla gerçekleştiril mektedir.

3.3.1 Metodun Adı mları

Ele alınan problemin sonlu eleman metodu ile analizinde takip edilen adımlar aşağı dadır.

3.3.1.1. Problem Geometrisinin Hemanlara Ayrıl ması

İlk adı m problem sonlu sayı da basit geo metrik şekilli bölgelere (sonlu ele manlar) ayır maktır. Sonlu eleman, uzaydaki konumları global eksen takımına bağlı koor dinatlar ca verilen, düğüm noktaları na sahiptir. Her bir sonlu ele manın geo metrik şekli interpolasyon fonksiyonları yla düğüm noktaları nın koor dinatları cinsinden tanı mlanır.

Sayısal modelle me proble min, sınırlarının, sınır şartlarının ve malze me özelliklerinin mate matiksel olarak ifade edil mesinin gerektir mektedir. Analiz edilecek bir proble min kar maşık geometrisinin tamtanım, yüzeyindeki sonsuz sayıda noktanın konu munun belirlen mesiyle sağlanır. Bu da sonsuz sayıda denkle min çözül mesini gerektirir. Bu nedenle geometri yaklaşık olarak makul sayıda ele manla ele alınır. Ele manların geometrik şekli düğüm noktalarının koordinatları cinsinden interpol asyon fonksi yonu ile tayin edil mektedir. [7]

3.3.1.2 Alan Değişkenin Tayini

Al an değişkeni yapı daki incel en birincil değişkendir. Geril me analiz proble minde bu yer değiştir medir. Bundan sonra yapılacak kabul, yer değiştir menin ele man boyunca değişi minin basit bir fonksiyon ol duğudur. İnterpolasyon fonksiyonu yer değiştir menin her bir ele manda değişi mini düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade edil mesini sağlar. Bu fonksiyonlar ele manların geo metrik şeklini tayin eden interpolasyon fonksiyonları ile aynı ol abilir. Bu durumda ele man izopara metrik olarak adlandırılır.

3.3.1.3 Ele manların Davramış Matrislerinin Hesaplan ması

Herbir eleman için elemanın fiziksel davranışını tanımlayan katsayı matrisi tanımlanır. Katı cisim mekaniğinden rijitlik matrisi hesaplanır. Bu hesap için kullanılan metodların çoğu toplam potansiyel enerjinin minimize edil mesine dayanır.

3.3.1.4 Ele man Matrislerinin Elrleştiril mesi

El e man ağı ile te msil edilen siste min özelliklerini bul mak için ele man özelliklerinin birleştiril mesi gerek mektedir. Diğer bir anlatı mla, her bir ele manın özelliklerini ifade eden matris denkle mleri birleştirerek tüm çözüm bölgesinin özelliklerini ifade eden matris denkle mler el de edilir. Siste min matris denkle mleri tek bir ele manın matris denkle mleri ile aynı formda ol masına karşın tüm düğüm noktalarını ihtiva ettiğinden daha fazla sayıda teri me sahiptir.

El e manların birbirlerine bağlandığı yerde (düğüm noktalarında) alan değişkeninin değeri bu noktayı paylaşan her ele manda aynıdır. Ele man denkle mlerinin birleştiril mesi genel olarak sayısal komputerler ile yapılır.

3.31.5 Sistem Denklemlerinin Çözümü

Birleştirme prosesi neticesinde alan değişkeninin bilinmeyen düğüm noktası değerlerini elde et mek için çözül mesi gereken si mültane denklem seti elde edilir. Eğer denklemler lineer ise standart çözüm teknikleri kullanı labilir.

Denklemlerin çözümü neticesinde birincil bilin meyenlerin (alan değişkeni) değerleri bulunur. Hastik gerilme-defor masyon analizinde birincil bilin meyen yer değiştir melerdir. Birim şekil değiştir meler elastisite teorisindeki bağıntıları kullanarak elde edilir. Geril meler de Hook Kanunu yardımıyla birim şekil değiştir melerden hesaplanır.

Düğümnoktası değerleri ve interpolasyon fonksiyonlarını kullanarak, eleman içinde biri mşekil değiştir me ve geril meler hesaplanabilir.

3.3.2 Heman Rjitlik Matrisi

Sonlu ele manlar met odunda, incelenen yapı bir bir lerine düğüm noktalarından bağlanan ele manlar topluluğu (ele man ağı) ile modellenir. Çözüm, te mel geril mebiri mşekil değiştir me (strain) if adelerini ve komşu ele manlar dan düğüm noktaları üzerinden aktarılan kuvvetler sistemini kullanar ak her bir ele mandaki çök melerin hesaplan masıyla el de edilir. Biri m şekil değiştir me, düğüm noktalarının çök melerinden el de edilir. Geril meler biri mşekil değiştir melerinden el de edilir. Her düğüm noktasındaki kuvvet diğer düğüm noktalarındaki kuvvetlere bağlıdır. El e manl ar yay siste mine benzer davranır ve tüm kuvvetler dengede olana kadar şekil değiştirirler. Bu da aynı zamanda çözül mesi gereken lineer denklemler siste mini ifade eder.

Rijitlik matrisi tatbik edilen kuvvetler nedeniyle düğüm noktalarının ne kadar yer değiştirdiğini tanı mlayan bir yay sabiti olarak düşünebilir. Matris for munda aşağı da ifade edil miştir.

$$\{f\} = [k]\{u\}$$
(3.1)

Bur ada $\{f\}$ el e mana et ki eden kuvvetler vektörü, [k] el emanının rijitlik matrisi, ve $\{u\}$ el e manın düğüm noktalarındaki yer değiştirme vektörüdür. Rijitlik matrisi düğüm noktalarının koordinatları ve mal ze menin el astik sabitlerinden oluşur.

Sistemi oluşturan bütün elemanlariçin aşağıdaki matrisifade elde edilir.

$$\{F\} = [K]\{U\}$$
(3.2)

 $\{F\}$ = Herbir düğü m nokt ası ndaki dış kuvvetler $\{F\}$ = \sum_{e} $\{f\}$

[K] = Tüm elemanlardaki rijitlik matrislerinin birleştiril mesi ile oluşan sistemin rijitlik matrisi $[K] = \sum_{e} [k]$

 $\{U\}$ = Yer değiştir me vektörü

Bu ifadede bilin meyenler, yer değiştir melerdir. Uygun matris işleminin tatbiki ile yer değiştir me vektörü eşitliğin bir tarafında yalnız bırakılır. Gauss eliminasyon yöntemi ile herbir düğüm noktasındaki yer değiştir meler hesaplanır.

Yer değiştirmeler vektörü, [B] gradyen matrisi ve [D] elastik sabitler matrisi ile çarpıldığında herbir düğüm noktasındaki gerilmeler hesaplanır.

$$[U] = [K]^{-1}{F}$$
(3.3)

$$\{\sigma\} = [D][B]\{u\}^e \tag{3.4}$$

3.3.3 Rjitlik Matrisin Türetil mesi

El e man rijitlik matrisini el de et mek için virtüel işler prensipinden faydalanılabilir. Bu prensibe göre, tatbik edilen kuvvetler ile dengede olan bir yapının virtüel yer değiştir mesi halinde dış kuvvetlerin virtüel işi yapı daki iç geril melerin virtüel şekil değiştir me enerjisine eşittir.

$$\delta U_{e} = \delta W_{e} \tag{3.5}$$

 δU_e : iç geril mel erin virtüel şekil değiştir me enerjisi δW_e : dış kuvvetlerin virtüel işi

Yapı daki geril me ve biri m şekil değiştir me dağılı mlarını hesapla mak için öncelikle biri m şekil değiştir meler ile yer değiştir meler arasındaki bağıntıyı tesis et mek gerek mektedir. Ele man içindeki herhangi bir noktanın yer değiştir mesi o noktanın koor dinatlarının bir fonksi yonudur. Bu fonksi yon düğü m noktalarının koor dinatları cinsinden ifade edilebilir. Bu polino mifadesi ile, düğü m noktalarındaki değerler den ele man içindeki herhangi bir noktanın yer değiştir mesi tayin edilebil mektedir. Bu fonksi yon interpolasyon fonksi yonu olarak adlandırılır.

$$\{u\} = [N]\{u\}^{e}$$
(3.6)

 $\{u\}$ yer değiştir me bileşenleri u(x, y) ve v(x, y)

 $\left[N
ight]$ interpolasyon fonksi yonu

 $\{u\}^e$ düğü m nokt ası ndaki yer deği ştir me bil eşenleri

Biri mşekil değiştir me yer değiştir me bağıntısı bu durumda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\{\varepsilon\} = [\partial]\{u\} = [\partial][N]\{u\}^e = [B]\{u\}^e$$
(3.7)

[B]

Gradyen matrisi

- $\{\varepsilon\}$ biri mşekil değiştir me süt un matrisi
- $[\partial]$ diferansi yel operat ör matrisi

Gradyen matrisi biri mşekil değiştir me bileşenleri ile düğüm noktası yer değiştir me bileşenlerini birbirine bağla maktadır.

Geril me matrisi aşağı daki şekilde yazılabilir.

$$\{\sigma\} = [\mathbf{E}][\mathbf{B}]\{\mathbf{u}\}^{\mathsf{e}} \tag{3.8}$$

Virtüel düğüm noktası yer değiştir meleri $\{\delta u^e\}$ için virtüel biri mşekil değiştir me enerjisi,

$$\delta \mathbf{U}_{\mathbf{e}} = \int_{\mathbf{V}} \left\{ \delta \boldsymbol{\varepsilon} \right\}^{\mathrm{T}} \left\{ \boldsymbol{\sigma} \right\} d\mathbf{V}$$
(3.9)

dir. Dş kuvvetlerin virtüel işi,

$$\delta W_{e} = \left\{ \delta u^{e} \right\}^{T} \left\{ f \right\}$$
(3.10)

Virtüel işler prensipinden aşağı daki ifade el de edilir.

$$\int_{V} \{\delta \varepsilon\}^{T} \{\sigma\} dV = \{\delta u^{\varepsilon}\}^{T} \{f\}$$
(3.11)

Geril me ve biri mşekil değiştir me ifadeleri yerine eşitlikleri konursa,

$$\int_{\mathbf{V}} \left\{ \delta \mathbf{u}^{\mathbf{e}} \right\}^{\mathrm{T}} [\mathbf{B}]^{\mathrm{T}} [\mathbf{E}] [\mathbf{B}] \left\{ \mathbf{u}^{\mathbf{e}} \right\} d\mathbf{V} = \left\{ \delta \mathbf{u}^{\mathbf{e}} \right\}^{\mathrm{T}} \left\{ \mathbf{f} \right\}$$
(3.12)

Virtüel ve gerçek yer değiştir meler haci msel integral den bağı msız ol duğundan aşağı daki eşitlik el de edilir.

$$\left\{\delta u^{e}\right\}^{T}\left(\int_{V} [\mathbf{B}]^{T} [\mathbf{E}] [\mathbf{B}] dV\right) \left\{u^{e}\right\} = \left\{\delta u^{e}\right\}^{T} \left\{f\right\}$$
(3.13)

Eşitliğin her iki tarafından $\{\delta u^e\}^T$ silinirse düğüm noktalarındaki yer değiştir meleri tat bik edilen kuvvetlere bağlayan aşağı daki ifade elde edilir.

$$[k]{u}^{e} = {f}$$
(3.14)

Bu ifadede el e man rijitlik matrisi

$$\begin{bmatrix} \mathbf{k} \end{bmatrix} = \int_{\mathbf{V}} \begin{bmatrix} \mathbf{B} \end{bmatrix}^{\mathsf{T}} \begin{bmatrix} \mathbf{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{B} \end{bmatrix} d\mathbf{V}$$
(3.15)

iki boyutlu problemde,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{k} \end{bmatrix} = \int_{\mathbf{V}} \begin{bmatrix} \mathbf{B} \end{bmatrix}^{\mathsf{T}} \begin{bmatrix} \mathbf{E} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{B} \end{bmatrix} \mathsf{td} \mathbf{A}$$
(3.16)

t eleman kalınlığı, Aise eleman alanıdır.

Bu şekilde kabul edilen yer değiştirme fonksiyonunu esas alan herhangi bir elemanın genel matematik ifadesi elde edilmiş oldu. Eleman rijitlik matrisi interpolasyon fonksiyonlarının for muna ve gradyen matrisini oluşturan türevlerine bağlıdır.[8]

3.3.4 Yer Değiştirme Fonksiyonu

El e man boyunca yer değiştir meleri kartezyen koordinatların (düzlemsel problemde x ve y) sürekli fonksi yonları olarak i fade et mekle, sonlu elemanın fiziksel davranışının matematiksel i fadesini elde et mek için ilk adı matıl mış olur.

Yer değiştirme fonksiyonları sonlu eleman içinde sürekli ve tüm elemanlarla uyumlu olacak şekilde seçilir. Polino mifadeler sürekliliği sağlarlar. Uyumluluk şartı, yük altında deformasyon neticesinde komşu elemanların birbiri üstüne binme mesi veya arada süreksizlik olma masıdır. Bu nedenle seçilen polinom ifadesinin derecesine karşılık gelen tümterimleri ihtiva et mesi istenir.

Polinomifadeler üçgen ve dörtgen ele manların yer değiştir me fonksi yonları olarak kullanılırlar. Matematiksel olarak ele alınmaları kolaydır. Yakınsa ma için herhangi bir dereceden polinom kullanılabilir. Şekil 3.3'de lineer dikdörtgen ele man görül mektedir.



Şekil 3.3 Lineer dikdörtgen eleman

Düzle mele man i çi ndeki her hangi bir noktanın yer değiştir mesi **u** fonksi yonu matris for mda aşağı daki şekil de yazılır.

$$\left\{\mathbf{u}\right\} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) & \mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \end{bmatrix}^{\mathsf{T}}$$
(3. 17)

Değişi m bir polinomla ifade edilebilir. Aşağı daki polinomifade lineer dikdörtgen ele manın yer değişi mi fonksi yonu ifade et mektedir.

$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 xy \tag{3.18a}$$

$$v = a_5 + a_6 x + a_7 y + a_8 x y \tag{3.18b}$$

Yer değiştir menin düğüm nokt alarındaki değerleri ise aşağı daki ifadel er den bul unur.

$$u(x_1, y_1) = a_1 + a_2 x_1 + a_3 y_1 + a_4 x_1 y_1 = u_1$$
(3.19a)

$$u(x_2, y_2) = a_1 + a_2 x_2 + a_3 y_2 + a_4 x_2 y_2 = u_2$$
(3.19b)

$$u(x_3, y_3) = a_1 + a_2 x_3 + a_3 y_3 + a_4 x_3 y_3 = u_3$$
(3.19c)

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}_4, \mathbf{y}_4) = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 \,\mathbf{x}_1 + \mathbf{a}_3 \,\mathbf{y}_1 + \mathbf{a}_4 \,\mathbf{x}_4 \,\mathbf{y}_4 = \mathbf{u}_4 \tag{3.19d}$$

Benzer şekilde yer değiştir menin v bileşeni için ifadeler yazılabilir.

Bundan sonra yapılacak iş yer değiştirme fonksiyonunu düğüm noktalarındaki değerleri cinsinden ifade et mektir.

$$u = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + N_4 u_4$$
(3.20a)

$$v = N_1 v_1 + N_2 v_2 + N_3 v_3 + N_4 v_4$$
 (3.20b)

Neticede matris for mda aşağı daki ifade el de edilir.

$$\begin{cases} u \\ v \end{cases} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ v_4 \end{bmatrix}$$
(3 21)

$$\{u\} = [N]\{u\}^{e}$$
(3.22)

N interpolasyon fonksi yonları aşağı daki eşitlikte veril miştir. N fonksi yonu i nu maralı düğüm noktasında 1 diğerlerinde 0 değerindedir. Buna göre şekilden aşağı daki ifadeler çı karılabilir.

$$N_1 = \frac{1}{4ab}(b-x)(a-y)$$
 (3.23a)

$$N_2 = \frac{1}{4ab}(b+x)(a-y)$$
 (3.23b)

$$N_3 = \frac{1}{4ab}(b+x)(a+y)$$
 (3.23c)

$$N_4 = \frac{1}{4ab}(b-x)(a+y)$$
 (3.23d)

N fonksi yonları i ki adet birinci dereceden polinom i fadenin çarpı m olduğundan bu ele man i ki doğrusal (bilinear) olarak adlandırılır. [9]

Biri mşekil değiştir meler ile yer değiştir meler arasındaki ifade,

$$\{\epsilon\} = [\partial]\{u\} = [\partial][N]\{u\}^{e} = [B]\{u\}^{e}$$
(3.24)

$$\begin{bmatrix} \partial \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} \\ \frac{\partial}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \end{bmatrix}$$
(3.25)

$$\begin{bmatrix} \mathbf{B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{N}_1}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_2}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_3}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_4}{\partial \mathbf{x}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_1}{\partial \mathbf{y}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_2}{\partial \mathbf{y}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_3}{\partial \mathbf{y}} & \mathbf{0} & \frac{\partial \mathbf{N}_4}{\partial \mathbf{y}} \\ \frac{\partial \mathbf{N}_1}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{N}_1}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{N}_2}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{N}_2}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{N}_3}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{N}_3}{\partial \mathbf{x}} & \frac{\partial \mathbf{N}_4}{\partial \mathbf{y}} & \frac{\partial \mathbf{N}_4}{\partial \mathbf{x}} \end{bmatrix}$$
(3.26)

Bu matrislerin el de edil mesinden sonra el e man rijitlik matrisi virtüel işler prensibinin tat biki ile el de edil mektedir.

Biri mşekil değiştir me bileşenleri aşağı da veril miştir.

$$\left\{ \epsilon \right\} = \begin{cases} \epsilon_{x} \\ \epsilon_{y} \\ \gamma_{xy} \end{cases} = \begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{cases} = \begin{cases} a_{2} + a_{4} y \\ a_{6} + a_{8} x \\ a_{3} + a_{4} x + a_{6} + a_{8} y \end{cases}$$
(3.27)

Biri m şekil değiştir meler ele man içinde x ve y' ye bağlı olarak değiş mektedir. Geril me biri m şekil değiştir me bağları sabit olduğundan geril me bileşenleri de ele man içinde şekil değiştir melerle benzer değişecektir. Bu şekilde çözüme iyi bir yaklaşı m sağlanır.

$$\{\varepsilon\} = \begin{cases} \varepsilon_{x} \\ \varepsilon_{y} \\ \gamma_{xy} \end{cases} = \begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{cases} = \begin{cases} sabit \\ sabit \\ sabit \end{cases}$$
(3.28)

Denklem (3.33)' de ise üç düğüm noktalı elemandaki şekil değişi mini veren ifade veril miştir. He man boyunca şekil değişi mi bileşenleri sabit olduğundan perfor mansı dört gen ele mandan düşükt ür. [10]

3.3.5 İsopara metrik Dörtgen Heman

Kar maşık geometrilerin modellen mesinde iki doğrusal dikdörtgen eleman iyi bir perfor mans göster mez. Genel dört gen (quadrilateral) ele manlar kar maşık geo metriyi daha i yi tensil eder [10]. Bu eleman daha önce ele alınan i ki doğrusal di kdörtgen ele man gibi for müle edilebilirse de gerekli integral işle mleri hayli kar maşıktır. İntegral sınırlarının tanımlanmasında zorluk vardır. Kartezyen koordinatlarda koordinat interpolasyonu elemanın uzaydaki konumuna son derece hassasdır. Elemanın bazı konumlarında ara matrisler hesaplana maz veya sistem denklemleri kötü sonuç verecek şekilde tesis edilir. İzoparametrik (Eşpara metrik) elemanların kullanıl ması bu dezavantajları gider mektedir. İzopara metrik ele manlar doğal koordinatlarda kare elemanlar olarak for müle edilir ve fiziksel koordinatlara yer değiştir me enterpol asyon fonksi yonl ara benzeyen koor di nat enterpol asyon fonksi yonları yardı m ile eşlenir. Kullanılan i zopara metrik ele manın tipi ne bağlı olarak elemanın fiziksel koordinatlardaki konfigürasyonu genel dörtgen ve eğri kenarlı olabilir. Koordinat enterpolasyonu için kullanılan şekil fonksiyonları yer değiştir me enterpolasyonu için kullanılanlara özdeş ise eleman izopara metrikdir. İzopara metrik ele manlar çok yönlü kullanılabildiklerinden ve daha güvenilir sayısal netice verdiklerinden sonlu ele man programlarının temel ele manlarıdır.

3. 3. 5. 1 İzopara metri k Eşle me

Şekil 3. 4'de dört düğüm noktalı dörtgen ele manın (s,t) doğal koordinatlarından (x, y) koordinat sistemine dönüştürül mesi görül mektedir. Doğal koordinatlarda ele man bir karedir ve koordinat sisteminin orijini merkezdedir. Kartezyen koordinatlarda ele man keyfi dörtgen şeklindedir. Şekil fonksi yonları ile, herhangi bir P(x, y) noktasının koordinatları düğüm noktalarının (x, y) koordinatları cinsinden ifade edilebilir.



Şekil 3.4 Hemanın fiziksel koordinatlara eşlenmesi

$$u(s,t) = a_1 + a_2 s + a_3 t + a_4 st$$
(3.29a)

$$\mathbf{v}(\mathbf{s}, \mathbf{t}) = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \mathbf{s} + \mathbf{b}_3 \mathbf{t} + \mathbf{b}_4 \mathbf{s} \mathbf{t}$$
(3.29b)

$$x(s,t) = \sum_{i=1}^{4} N_i(s,t) X_i$$
 (3.30a)

$$y(s,t) = \sum_{i=1}^{4} N_i(s,t) y_i$$
 (3.30b)





$$N_2(s,t) = \frac{(1+s)(1-t)}{4}$$
(3.34b)

$$N_3(s,t) = \frac{(1+s)(1+t)}{4}$$
(3.34c)
$$N_4(s,t) = \frac{(1-s)(1+t)}{4}$$
(3.34d)

El e man doğal koordinatlardan kartezyen (fiziksel) koordinatlara eşlendikten sonra s ve t eksenlerinin birbirine dik ol ması şart değildir.

Analizde kullanılan diğer bir eleman tipi olan, ikinci dereceden yer değiştirme fonksiyonlu 8-düğüm noktalı elemana ait şekil fonksiyonları aşağı da verilmiştir. Bu eleman yapıdaki gerilme değişimini lineer eleman nazaran daha iyi temsil et mektedir. Şekil 3.5'de eleman görülmektedir.



Şekil 3.5. 8-düğü m nokt alı izopara metrik sonlu eleman

Bu el e manın yer değişi mfonksi yonu aşağı da verilmiştir.

$$u = a_1 + a_2 s + a_3 t + a_4 s^2 + a_5 s t + a_6 t^2 + a_7 s^2 t + a_8 s t^2$$
(3.35a)

$$\mathbf{v} = \mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \mathbf{s} + \mathbf{b}_3 \mathbf{t} + \mathbf{b}_4 \mathbf{s}^2 + \mathbf{b}_5 \mathbf{s} \mathbf{t} + \mathbf{b}_6 \mathbf{t}^2 + \mathbf{b}_7 \mathbf{s}^2 \mathbf{t} + \mathbf{b}_8 \mathbf{s} \mathbf{t}^2$$
(3.35b)

Benzer şekilde eleman içindeki herhangi bir noktanın yerdeğiştirmesi ve koordinatları düğüm noktasındaki değerler cinsinden şekil fonksiyonları yardımıyla hesaplan maktadır.

$$u = \sum_{i=1}^{8} N_i(s, t) u_i$$
 (3.36a)

$$\mathbf{v} = \sum_{i=1}^{8} N_i(s, t) \, \mathbf{v}_i \tag{3.36b}$$

$$x = \sum_{i=1}^{8} N_i(s, t) x_i$$
 (3.37a)

$$y = \sum_{i=1}^{8} N_i(s, t) y_i$$
 (3.37b)

$$\{u\} = [N]\{u\}^{e}$$
 (3.38)

Şekil fonksi yonun düğüm noktası ndaki değerlerini veren ifadeler aşağı dadır.

$$N_1(s,t) = -\frac{(1-s)(1-t)(1+s+t)}{4}$$
 (3.39a)

$$N_2(s,t) = -\frac{(1+s)(1-t)(1-s+t)}{4}$$
(3.39b)

$$N_3(s,t) = -\frac{(1+s)(1+t)(1-s-t)}{4}$$
(3.39c)

$$N_4(s,t) = -\frac{(1-s)(1+t)(1+s-t)}{4}$$
(3.39d)

$$N_5(s,t) = \frac{(1-s^2)(1-t)}{2}$$
(3.39e)

$$N_6(s,t) = \frac{(1+s)(1-t^2)}{2}$$
(3.39f)

$$N_7(s,t) = \frac{(1-s^2)(1+t)}{2}$$
(3.39g)

$$N_8(s,t) = \frac{(1-s)(1-t^2)}{2}$$
(3.39h)

İzopara metrik elemanların tercih edil mesinin ana nedeni fiziksel koordinatlarda integral işlemlerinden kaçın maktır. Bununla birlikte, (3.20) rijitlik matrisi fiziksel koordinatlarda ifade edilmiştir. Bu nedenle, dx ve dy diferansiyel uzunlukları ds ve

dt doğal koordinat diferansiyel uzunlukları cinsinden ifade edil melidir. Şekil değişi mi fiziksel koordinatlara bağlı olarak şekil fonksiyonlarının türevleri cinsinden ifade edilir.

Bu türevler [B] matrisinin elemanlarıdır ve doğal koordinatlara bağlı olarak dönüştürül melidir.

(dx, dy) diferansi yelleri ile (ds, dt) diferansi yelleri arası ndaki bağıntı aşağı daki ifadede veril miştir.

$$d\mathbf{x} = \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \mathbf{s}} d\mathbf{s} + \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} dt$$
(3.35a)

$$dy = \frac{\partial y}{\partial s} ds + \frac{\partial y}{\partial t} dt$$
 (3.35b)

bu if a dedede,

 $\frac{\partial x}{\partial s} = \sum \frac{N_i}{\partial s} \, x_i \, , \; \frac{\partial y}{\partial s} = \sum \frac{N_i}{\partial s} \, y_i \; , \\ \frac{\partial x}{\partial t} = \sum \frac{N_i}{\partial t} \, x_i \, , \; \frac{\partial y}{\partial t} = \sum \frac{N_i}{\partial t} \, y_i$

Koordinat türevleri matris for mda ifade edilir,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \mathbf{s}} & \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{s}} \\ \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial \mathbf{t}} & \frac{\partial \mathbf{y}}{\partial \mathbf{t}} \end{bmatrix}$$
(3.36)

[J] matrisi dönüşümün Jacobi yeni dir.

İki koordinat sisteminin diferansiyelleri aşağıdaki formda yazılabilir.



Yukarı da yapılan işlemlere benzer olarak, (i) düğüm noktası için şekil fonksi yonun türevleri aşağı daki for mda el de edilir.



 $[J]^{-1}$ var ise, (s,t) koordinatlarından (x,y) koordinatlarına birebir eşleme yap ma mümkün ol maktadır. İşlemtersinirdir. |J| determinantı sıfırdan büyük ise, elemanın alanı muhafaza edilmekte ve eşleme fiziksel olarak bir anlam taşı maktadır. |J|elemanın herhangi bir noktasında A_{xy}/A_t diferansiyel alan oranıdır.

[J] sabit bir kalınlık için diferansiyel haci mde, düzle melastisite ele manı için hdxdy nin h|J|dsdt dönüşü münü sağla maktadır. Integral sabitleri siçin - 1 den 1 e vet için -1 den 1 e dir. Bu şekilde, her hangi bir F(x,y) fonksi yonunun integrali doğal koor dinatlara aşağı daki ifade ile dönüşt ür ül ür.

3.3.5.2 Heman Rjitlik Matrisi

(3.16) ifadesi izopara metrik lineer dörtgen ele man içinde kullanır. Koordinat dönüşümü neticesinde ele man rijitlik matrisi aşağıda ifade edil miştir.

3.3.5.3 Sayısal İntegrasyon

Sonlu ele manlar program arında integral al ma işlemleri sayısal olarak yapıl maktadır. Yaygın olarak kullanılan sayısal integrasyon metodu Gauss Kareleştir me (Quadrature) metodudur. Bu metodda diğerlerine nazaran daha az örnekle me noktası ile istenen yaklaşı melde edilir.

Bu met odda verilen bir F(s,t) fonksi yonunun integral al ma işlemi aşağı daki for ma dönüşür.

$$I = \int_{-1}^{1} \int_{-1}^{1} F(s,t) ds dt = \sum_{k=1}^{m} \sum_{l=1}^{n} w_{k} w_{l} F(s_{k},s_{l})$$
(3.41)

Bu i fadede m ve n s ve t yönündeki ör nekle me noktaları sayıları dır. s_k ve t_1 k ve l ör nekle me noktaları nı n konu mları, w_k ve w ör nekle me noktaları nda F(s,t) ye tat bi k edilen ağırlı klardır. Genelde m=n dir. [8]

Gauss Kareleştir me met odu ile el de edilen i sabetli yaklaşı mör nekle me noktalarının yerleri ve ağırlıklarının uygun seçi mine bağlıdır. Opti mal ör nekle me noktaları konu miarı ve ağırlıkları şekilde veril miştir. Şekilde 3.6'de 4 ör nekleme noktası vardır. Bu noktalar s ve t referans eksenlerine göre ± 0.577350269 konu miarı ndadır. Ağırlık faktörüleri 1 dir.



Şekil 3.6 Gauss Kareleştir me için opti mum örnekle me noktası konumları

İntegrasyon noktaları sayısı, elemanın performansına etki etmektedir. Tam integresyon distorte olmamış eleman için rijitliği tam olarak integral alma için gerekli integrasyon derecesidir. Lineer izopara metrik dörtgen eleman için şekilde gösterildiği gibi 4 örnekleme noktası tamintegrasyonu sağlamaktadır.

İkinci dereceden dörtgen eleman için örnekleme noktalarını Şekil 3.7'da görülmektedir.



3.4 İki Boyutlu Modelle me

Problem geometrisi bir düzlemde tanı mlanabilir ve tatbik edilen yüklerde aynı düzlemde ise, bu durumda problem düzlemsel (2 boyutlu) olarak incelenebilir. İki boyutlu problemlerin iki genel hali vardır: düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme. Düzlem gerilme, yapıların düzlemdeki boyutlarına nazaran küçük kalınlıkta ol ması durumunda söz konusudur. Bu durumda düzlem dışı koordinata bağlı gerilme bileşenlerinin tümü sıfırdır. Kalınlık düzlemdeki boyutlardan son derece büyükse bu durumda düzlem şekil değiştirme hali vardır. Düzlem şekil değiştir me halinde düzlem dışı doğrultuda biri mşekil değiştir meler sıfırdır.



Şekil 3.8 İki boyutlu katı geometrisi

Teorik ol arak düzlem geril me halinde kalınlık sıfıra, düzlem şekil değiştir me halinde kalınlık sonsuza gider. Kalınlık sonlu değer de ve aşağı yukarı düzlem deki boyutlarla aynı ise bu durum da üç boyutlu hal söz konusudur. Bununla birlikte pratikte sadece düzlem yükleri varsa, düzlem geril me ve düzlem şekil değiştir me yaklaşınları gerçek 3 boyutlu çözüme uygundur. Düzlem geril me ve düzlem şekil değiştir me çözümleri genel de benzer ve bazı durumlar da ise aynı neticeyi ver mektedir.[8]

El astisite teorisinde türetilen ifadeler iki boyutlu problemlerin çözümünü sağlar. Bu ifadeler yer değiştirme, birim şekil değiştirme ve gerilme bileşenlerini birbirine bağlamaktadır. Lineer elastisite mühendislik problemlerin incelenmesinde esas alınmaktadır. Malzeme homojen ve izotropiktir. Küçük deformasyonlara izin veril miştir. Gerilme ve birimşekil değiştirme, veya kuvvet ve deformasyon arasında lineer bir bağ vardır. Tatbik edilen kuvvetler kaldırıldığında deformasyonlarda

İki boyutlu yapıda, düzlemde herhangi bir noktanın hareketini tanımlayan iki yer değiştirme bileşeni vardır. Bir cisim x, y koordinat sistemine yerleştirildiğinde x yönündeki yer değiştirme bileşeni $\mathbf{u}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ ve y yönündeki yer değiştirme bileşeni $\mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ dir. Düzlem çözümde biri mşekil değiştir me bileşenleri ε_x , ε_y ve γ_{xy} dir. Biri mşekil değiştir me-yer değiştir me bağıntıları aşağı da veril miştir.

$$\varepsilon_{\mathbf{x}} = \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} \tag{3.42}$$

$$\varepsilon_{\mathbf{y}} = \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \mathbf{y}} \tag{3.43}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$
(3.44)

Bu biri mşekil değiştir melerine karşılık gelen gerilmeler σ_x , σ_y ve τ_{xy} dir. Düzlem geril mede σ_z , τ_{yz} ve τ_{xz} sıfırdır. Düzlem geril me hali için

$$\begin{cases}
\sigma_{x} \\
\sigma_{y} \\
\tau_{xy}
\end{cases} = \frac{\mathsf{E}}{1-\nu^{2}} \begin{bmatrix}
1 & \nu & 0 \\
\nu & 1 & 0 \\
0 & 0 & \frac{(1-\nu)}{2}
\end{bmatrix} \begin{cases}
\varepsilon_{x} \\
\varepsilon_{y} \\
\gamma_{xy}
\end{cases}$$
(3.45)

Bu if adede σ_x ve σ_y nor mal geril me bil eşenleri, τ_{xy} kay ma geril mesi, E el astisite modül ü ve v poisson or anı dır.

Düzle mşekil değiştir me durumunda, biri mşekil değiştir me bileşenleri ε_z , γ_{xz} ve γ_{yz} sıfırdır. Geril me bileşenleri σ_z , τ_{xz} ve τ_{yz} sıfırdan farklı ve σ_z belirgin bir değer de olabilir. σ_z , $\varepsilon_z = 0$ şartının sağlan ması durumunda düzle mdeki bileşenler den doğrudan hesaplanabilir.

$$\begin{cases} \sigma_{x} \\ \sigma_{y} \\ \tau_{xy} \end{cases} = \frac{\mathsf{E}}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \begin{cases} \varepsilon_{x} \\ \varepsilon_{y} \\ \gamma_{xy} \end{cases}$$
(3.46)

Aşağı daki şekillerde i ki boyutlu modellenebilen problemler görül mektedir.



Şekil 3.9. La melli kanca (Düzlem geril me hali)



Şekil 3.10 Baraj duvarı (Düzlembiri mşekil değiştir me)

4. KÖPRÜLÜ KRENLERİ N KONSTRÜKSİ YONU VE HESAP ESASLARI

Krenler endüstride yüklerin kaldırılıp, indirilmesi veya bir yerden başka bir yere taşınması için kullanılırlar. Şekil 4.1'de krenler detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.1 Krenlerin sınıflandırıl ması

Kal dır ma maki nel eri ve parçalarının konstrüksi yonunda, siste min kullanı msüresi nce istenen perfor mansta görevini yerine getir mesi dikkate alın ması gereken en öne mli özelliktir.[11] Bu a maç doğrultusunda ilk olarak dizaynı yapılacak olan kaldır ma maki nesinin ve parçalarının FEM (Federation Europenne de la Manutention) standardına göre belirlenen çalış ma grubu ve süresi belirlen melidir. FEMstandardına göre kaldır ma maki nelerinin sınıflandırıl ması 3 gruba göre yapıl mıştır. Bunlar;

- Kaldır ma maki nesi büt ün olarak,
- Özel ekipman ve mekanizmalar bütün olarak,
- Yapısal ve mekanik parçalar.

Bu sınıflandır ma yapılırken 2 kriter esas alınmıştır. Bunlar;

- Hesaba katılan parçaların toplam kullanı msüresi,
- Kanca yükü, yükleme veya herhangi bir parçadaki gerili mdağılımı.

4.1. Kaldırma Makinelerinin Sınıflandırılması

4. 1. 1. Siste msi nifl andi rmasi

Kaldır ma makineleri bütün olarak A1, A2,...., A8'e kadar olan sembollerle 8 grup halinde, 10 adet kullanım süresine göre ve 4 adette yük dağılımına göre sınıflandırılırlar

4.1.2. Kullanı msınıflandır ması

Kullanı mışınıflandır masının anlamı, kaldır ma makinesinin çalış ma süresi boyunca yapacağı kaldır ma iş sayısıdır. Kaldır ma işi bütün olarak bir dizi operasyonlar içerisinde gerçekleşir. Bunlar kaldır manın başlaması, hareket yönü ve işle m sonudur[11].

Toplam kullanım süresi, U0, U1,...., U9'a kadar olan 10 sembole göre dizayn edil miştir.

Se nbol	Topl a	mkullanır	m(n _{max} max.	kaldırma sa	ayısı)
UO			n _{max}	\leq	16000
U1	16000	<	n _{max}	\leq	32000
U2	32000	<	n _{max}	\leq	63000
U3	63000	<	n _{max}	\leq	125000
U4	125000	<	n _{max}	\leq	250000
U5	250000	<	n _{max}	\leq	500000
U6	500000	<	n _{max}	\leq	1000000
U7	1000000	<	n _{max}	\leq	2000000
U8	2000000	<	n _{max}	\leq	4000000
U9	4000000	<	n _{max}		

Tabl o 4.1 Topl am kullanı m süresi

4. 1. 3 Yük dağılı m

Yük dağılı m, kaldır ma maki nasının toplam kullanım süresince kaldırdığı yüklerin toplamı y=f(x) dağılı mfonksi yonu ile ifade edilir. Burada $x (0 \le x \le 1)$ süresi ve $y (0 \le y \le 1)$ aralığındaki Şekil 4.2'de yük dağılım grafikleri görül mektedir. Burada y değeri kaldırılan e miyetli çalış ma yükü oranını, x değeri ise toplam kullanım süresini belirt mektedir.



Şekil 4.2 Yük dağılı mgrafikleri

Bur ada $m_{\rm max}$ = yükl eri, $m_{\rm max}$ = e nni yetli çalış ma yükünü, n= gerçek kal dır ma sayısını, $n_{\rm max}$ = topl a m kal dır ma süresi nce topl anan kal dır ma sayısını te n**s**il et mekt edir [11]. Her bir dağlı m, k_p dağlım fakt örü ile hesaplanır. Bur ada k_p yakl aşık olarak;

$$k_p = (m_1 / m_{max})^3$$
. $n_l / n_{max} + (m_2 / m_{max})^3$. $n_2 / n_{max} + ... + (m_r / m_{max})^3$. n_r / n_{max}

 $k_{p} = \Sigma (\ m_{1} \ / \ m_{mx} \)^{3} . \ n/n_{mx} \ d \, arak \ bul \ unur.$

Yük dağılı mına göre kaldır ma makinası, Tablo 4.2'de görülen ve Ql, Q2, Q3, Q4 ile tanı mlanan 4 dağılı msınıfından birine yerleştirilir.

Tabl o 4.2 Yük dağılı mfaktörü tabl osu

Se mbol	k₀ yük dağılı mfaktörü								
Q1			$\mathbf{k}_{\mathbf{p}}$	\leq	0 125				
Q2	0 125	<	k _p	\leq	0 250				
Q3	0 250	<	k _p	\leq	0 500				
Q4	0 500	<	, kp	\leq	1.000				

4.1.4 Kaldırma maki neleri nin grup sınıflandırması

Kal dır ma makinaları Tablo 4. 3'te gösterildiği gibi Al ile A8 arasında 8 grup halinde sınıflandırıl mıştır[11].

Yük dağılı m				Kulla	anı m Sı ı	nı flandı	r ması			
sı ni fi	UO	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	Al	Al	Al	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Tablo 4.3 Kaldır ma makinalarının grup sınıflandır ması

4.1.5 Kaldırma makinalarının sınıflandırıl ması

Tablo 4.4'te kaldırma makinelerinin sınıflandırılması ile ilgili rehber bilgiler verilmiştir. Aynı tipteki kaldırma makineleri değişik yollarla kullanılabilirler, ancak ayırt et mek için bir gruplandırma yapımak gerekir. Bu gruplandırma yapılırken kaldırma makinesinin tipi, yükleme grubu ve kaldırma tipi kriterleri dikkate alınmalıdır. Kaldırma makinalarının sınıflandırılmasında kullanılan ve kren tipine göre sınıflandırma Tablo 4.4'te görül mektedir.

Yapılan sınıflandır mada belirlenen kaldır ma makinası grubu ve bu gruba göre kaldır ma şekli esas alınmıştır. Kaldır ma şeklinin kancalı, tutucu veya magnet ol ması kaldır ma makinasının grup sınıflandır masını etkile mektedir.

Referans	Kren Tipi	Kal dır ma şekli	Ví nç Gr ubu
1	E ile tahrikli vinçler		A1- A2
2	Tahrikli krenler		A1- A2
3	Güç istasyonları ve atelyeler için		A2- A4
	tahrikli ve de montaj krenleri		
4	Depolama ve hurdataşı yıcıları	Kancalı	A5
5	Depolama ve hurdataşı yıcıları	Tut ucu veya magnet	A6- A8
6	At el ye krenleri		A3- A5
7	Gezer köprülükrenler	Tut ucu veya magnet	A6- A8
8	Kepçeli krenler		A6- A8
9	Yer altı fırın köprüsü		A8
10	Kazı yı cı kren, firin besleme kreni		A8
11	De mir ocağı krenleri		A6- A8
12. a	Yük boşalt ma ve konteynırlar için	Kancalı veya çift	A5- A6
	köprü krenleri	Ironoole	
		Kancan	
12. b	Diğer köprüvinçleri		A4
		Kancalı	
13	Yük boşalt ma için köprükrenleri	Tut ucu veya magnet	A6- A8
14	Havuz krenleri, tersane krenleri	Kancalı	A3- A5
	(yük boşaltmakiçin)		
15	Dok vinçleri, yüzer veya sahil	Kancalı	A5- A6
	kr e nl eri		
16	Dok vinçleri, yüzer veya sahil	Tut ucu veya magnet	A6- A8
	kr enl eri		
17	Ağır yükleriçin yüzer veya sahil		A2- A3
	kr enl eri		
18	Güverte krenleri	Kancalı	A3- A4
19	Güverte krenleri	Tut ucu veya magnet	A4- A5
20	İnşaat için kule krenler		A3- A4
21	Vi nçl er		A2- A3
22	Tren rayında çalışan raylı krenler		A4

Tablo 4.4 Kaldır ma maki nelerinin sınıflandırıl ması için rehber tablo

4.2 Yükle me Tiplerinin Sunflandırıl ması

Bir krenin konstrüksiyonunda DIN 15018 standardına göre yükleme belirlen mesidir. [12] Bunlar;

- Yüklemenin H(ana yük) hali
- Yüklemenin HZ (ana ve ek yükler) hali
- Yüklemenin HS (ana ve özel yükler) hali

4.2.1 Yükle menin H(ana yük) hali

DIN 15018 standardına göre yüklemenin H hali "ana yük" anlamına gelen "Hauptlast" keli mesinin ilk harfi olarak isi mlendiril miştir. Yapılan hesaplarda sadece ana yükten ileri gelen kuvvetler dikkate alınmış ve hesaplar buna göre yapılmış de mektir. Genel olarak ana yük, işlet mede vince ait olan sabit ve hareketli parçalar ile yükün kaldır ması için gerekli ele manların kütleleridir. Bu kütle değerleri yerçeki mi ivmesi, "Kaldır ma yükü katsayısı ψ " ve "yükselt me katsayısı γ " ile çarpılarak büyüt ülürler [12].

Ana yük denilince anlaşılması gereken kısı mlar ve kuvvetler;

- Kal dır ma maki nesi ni n öz ağırlığını n kuvveti (Kıriş, araba, kanca, travers, çeli k hal atlar, kepçe ve magnetler...vb.),
- Kal dır ma yükü kuvveti,
- Tahri kivnesi ve frenle mesinden kaynaklanan kütle kuvvetleri,
- Yük darbel eri sonucu ol uşan kuvvet,
- Platfor möz ağırlığından ileri gelen kuvvet.

4.2.2 Yüklemenin HZ (ana ve ek yükler) hali

DI N 15018 standardına göre yüklemenin HZ hali "ana ve ek" yükler anlamına gelen "Haupt und Zusatzlasten" ifadesinin ilk harfleri olarak isi mlendiril miştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında ek yüklerde di kkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış de mektir [12].

Ek yük denilince anlaşılması gereken kuvvetler;

- Rüzgar kuvveti,
- Kasıl madan ve çarpık hareketlerden ileri gelen kuvvetler,
- Isı dan ileri gelen kuvvetler,
- Kar yükünden ileri gelen kuvvetler,
- Mer di venler, raflar ve korkul ukların yük ağırlığından ileri gelen kuvvetler.

4.2.3 Yüklemenin HS (ana ve özel yükler) hali

DI N 15018 standardına göre yüklemenin HS hali "ana ve özel" yükler anlamına gelen "Haupt und Sonderlasten" ifadesinin ilk harfleri olarak isi mlendiril miştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında özel yüklerde dikkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış de mektir [12]. Özel yük denilince anlaşılması gereken kuvvetler;

- Kaldır ma makinesini işlet meye alırken kullanılan kontrol yüklerinden ileri gelen kuvvetler,
- Ta mpon kuvvetleri,
- İki araba veya iki vinç beraberce bir rayda çalışı yorlarsa, bunların çarpış ma kuvveti.

4. 2. 4 Yükselt me katsayısı n n " γ_c " seçil mesi

Kal dır ma maki nesi nin çalış ma tipi ne göre FEM ve DIN standartları na uygun olarak çeşitli tablolar oluşturul muştur. Yükselt me kat sayısının kal dır ma grubuna göre seçi mi Tablo 4.5'te görül mektedir [12].

Tabl o 4.5 Kal dır ma grubuna göre yükselt me katsayısı

Kal dır ma								
Gr ubu	Al	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Yükselt me katsayısı (γ _c)	1.00	1.02	1. 05	1. 08	1. 11	1. 14	1. 17	1. 20

4.2.5 Kaldırma yükü katsayısının "ψ" seçil mesi

Kal dır ma yükü katsayısı kal dır ma maki nesinin (kren veya vincin) kal dırma hızıyla ilgili tayin edil miş bir katsayıdır. Kal dır ma yükü katsayısı " ψ " 1.15 değerinden daha küçük seçile mez. Şekil 4.3'de kal dır ma yük katsayısının kal dır ma hızına göre değişi mi görül mektedir.



Şekil 4.3 Kaldır ma yükü katsayısı

4.3 Ģft Krişli Gezer Köprülü Krenler ve Hesapları

Çi ft kirişli köprülü krenler, yükleri yalnız kaldırma kla kal mayıp onları yatay olarak da hareket ettiren iş veya tesir alanları geniş kaldırma makinalarıdır. Bu krenler, fabri kalarda, a nbarlarda (kapalı veya açık), enerji santrallerinde (montaj ve revizyon işlerinde) vb kullanılır.

Çift kirişli köprülü krenler, yüksekte bulunan raylar üzerinde hareket eden arabalı köprülerden i barettir. Araba yükleri kaldırır veya indirir ve köprü boyunca taşır. Köprü, yükleri kren yolu boyunca götürür. Bu suretle, yükün birbirine dik üç doğrultuda hareket et me i mkanı doğar.



Şekil 44 Çft kirişli gezer köprülü kren gösteri mi

4.3.1 Ģft kirişli köprülü krenin kiriş konstrüksiyon esasları

Yapılan tez çalış masında çift kirişli köprülü kren kiriş konstrüksiyonu olarak kutu kiriş konstrüksiyonu veril miştir. Şekil 4.5'te standart bir kutu kiriş konstrüksiyonu gösteril miştir.



Şekil 4.5 Kut u kiriş konstrüksi yonu

Şekil 4.5'te görünen kutu kiriş konstrüksi yonunda yer alan tekil ölçüler şunlardır:

Kut u kiriş yan plaka yüksekliği h_2 içi n $h \approx \frac{L_K}{15} \dots \frac{L_K}{12}$ Kut u kiriş yan plaka kalınlığı t_2 içi n $t_2 \leq \frac{h_2}{100} \approx 6 \dots 12 \text{ mm}$ Kut u kiriş genişliği, yani yan plakalar arası b_K
mesafesi içi n $b_K \approx (0.85 \dots 1) h_2$ Üst ve alt başlık levhaları kalınlığı t_1 içi n $t_1 \approx (1 \dots 2) t_2$ Kut u kiriş tekerlek başlığı bağlantı yüksekliği h_0
içi n $h_0 \geq 0.4 h_2$ Kut u kirişte per de arası mesafesi L_{Pe} içi n $L_{Pe} \approx (2 \dots 5) h_2$

4.3.2 Kutu kirişlerde eğil me atalet ve mukave met no menti

Şekil 4.6'te kutu kirişlerde eğilme atalet ve mukavemet momenti kesiti gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Kutu kirişlerde eğil me atalet ve mukave met mo menti kesiti

Kut u kirişler de eğil me atal et momenti hesaplanır ken ilk olarak tarafsız eksen veya kesit ağırlık merkezi bulunur.

$$S_{X} = \frac{b_{K} A_{I} + \left[b_{I} - \left(b + \frac{t_{2}}{2}\right)\right] (A_{2} + A_{R}) + \left(b + \frac{t_{2}}{2}\right) A_{2}}{A_{top}}$$

$$S_{X} = \frac{b_{I} \cdot (A_{1} + A_{2} + A_{R}) - \left(b + \frac{t_{2}}{2}\right) \cdot A_{R}}{A_{top}}$$

$$S_{Y} = \frac{h_{k} A_{2} + \frac{t_{1}}{2} A_{1} + \left(h_{k} - \frac{t_{1}}{2}\right) A_{1} + \left(h_{k} + \frac{h_{R}}{2}\right) A_{R}}{A_{top}}$$

$$S_{Y} = \frac{h_{k} \cdot (A_{1} + A_{2} + A_{R}) + \frac{h_{R}}{2} \cdot A_{R}}{A_{top}}$$
(1)

 $\mathbf{A}_{\mathrm{op}} = 2\mathbf{A}_{\mathrm{I}} + 2\mathbf{A}_{\mathrm{P}} + \mathbf{A}_{\mathrm{R}} \tag{3}$

Siste min tarafsız ekseni bul unduktan sonra Steiner'e göre kiriş atalet momenti hesaplanır.

X ekseni ne göre atal et momenti " I_x "

$$I_{x} = I_{x1} + y_{1}^{2} A_{1} + I_{x2} + y_{2}^{2} A_{2} + I_{x3} + y_{3}^{2} A_{3} + I_{x4} + y_{4}^{2} A_{4} + I_{x5} + y_{5}^{2} A_{5}$$
(4.a)

$$I_{x1} = I_{x3}$$
; $I_{x2} = I_{x4}$; $A_1 = A_3$; $A_2 = A_4$; $y_2 = y_4$ (4.b)

$$I_{x} = 2(I_{x1} + I_{x2}) + I_{x5} + (y_{1}^{2} + y_{3}^{2})A_{1} + 2y_{2}^{2}A_{2} + y_{5}^{2}A_{R}$$
(4.c)

Sonuç olarak I_x at al et moment i

$$I_{x} = 2 \cdot \left(\frac{t_{2} \cdot h_{2}^{3}}{12} + \frac{b_{1} \cdot t_{1}^{3}}{12} \right) + \frac{b_{R} \cdot h_{R}^{3}}{12} + \left(y_{1}^{2} + y_{3}^{2} \right) A_{1} + 2 \cdot y_{2}^{2} \cdot A_{2} + y_{5}^{2} \cdot A_{R}$$
(5)

dır.

Y- Ekseni ne göre atal et momenti " $I_{\rm y}$ "

$$I_{y} = I_{y1} + x_{1}^{2} A_{1} + I_{y2} + x_{2}^{2} A_{2} + I_{y3} + x_{3}^{2} A_{3} + I_{y4} + x_{4}^{2} A_{4} + I_{y5} + x_{5}^{2} A_{5}$$
 (6a)

$$I_{y1} = I_{y3} ; I_{y2} = I_{y4} ; A_{t} = A_{t} ; A_{t} = A_{t} ; x_{1} = x_{3}$$
 (6b)

$$I_{y} = 2(I_{y1} + I_{y2}) + I_{y5} + (x_{2}^{2} + x_{4}^{2})A_{2} + 2x_{3}^{2}A_{1} + x_{4}^{2}A_{R}$$
 (6c)

Sonuç olarak Iy atalet momenti

$$I_{y} = 2 \cdot \left(\frac{h_{2} \cdot t_{2}^{3}}{12} + \frac{t_{1} \cdot b_{k}^{3}}{12} \right) + \frac{h_{R} \cdot b_{R}^{3}}{12} + \left(x_{2}^{2} + x_{4}^{2} \right) A_{2} + 2 \cdot x_{3}^{2} \cdot A_{1} + x_{4}^{2} \cdot A_{R}$$
(7)

dır.

X-Eksenine göre mukavemet nomenti " W "

Hesaplarda maksi mum geril me kullanıldığından mini mum mukave met momentini hesaplamak gereklidir. Mini mum mukave met mon menti de e_{max} ve u_{max} ile

$$W_{x} = \frac{I_{x}}{e_{max}} \quad ve \quad W_{y} = \frac{I_{y}}{u_{max}}$$
(8)

şeklinde hesaplanır.

4.4 Kren Kirişinde Normal Gerilmeler ve Hesapları

Kren kirişinde meydana gelen normal gerilmeler H durumu dikkate alınarak hesaplanır. HS ve HZ hali için ek gerilmeler denklem (9.a) ifadesine ilave edilerek hesaplama yapılır.

$$\sigma_{\max} = \gamma_c \left(\sigma_1 + \sigma_2 + \psi \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 \right)$$
(9.a)

$$\sigma_{\min} = \sigma_1 + \sigma_2 \tag{9.b}$$

Köprül ü kren kirişi ve ray üzerinde bir çift tekerlek ve se mbolize edilen araba (vinç) Şekil 4.7'da görül mektedir.



Şekil 4.7 Köprülü kren kirişi ve kirişe et ki yen kuvvetler

Bur ada,

 $F_{TD} = Araba tekerleklerine et ki yen kuvvet,$

 $F_{TH} = Araba kasıl ması ndan ileri gelen ve araba tekerleği ne et ki yen yatay kuvvet,$

 $K_{11} = M$ nç tekerleğindeki ivme ve frenlemeden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{11} (sürtünme kuvveti).

4.4.1 Kren özağırlığından oluşan geril me" o_l"

Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan geril me, kren kirişinin yayılı yükün doğurduğu momentin oluşturduğu eğil me geril mesidir. Mukave met momentinin hesabında platfor mun geometrik ölçüleri dikkate alınmadıysa da, mukave met hesaplarında platfor m dikkate alınır. Böylece daha e mniyetli hesap yapılmış olur. Şekil 4.8'de kirişin öz ağırlık momentinin dağılımı görül mektedir.



Şekil 4.8 Kırişin özağırlık momentinin dağılı m

Kirişteki yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti " M ";

$$M_1 = \frac{F_{AK} \cdot L_K}{8} \tag{10}$$

Kirişteki yayılı yük kuvveti, yani kiriş ağırlık kuvveti ise

$$F_{AK} = (q_{K} + q_{P}) \cdot g \cdot L_{K}$$
(11)

ile hesaplanır.

Böylece kirişteki yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti " M ";

$$M_{1} = \frac{(q_{K} + q_{P}) \cdot g \cdot L_{K}^{2}}{8}$$
(12)

olarak yazılır.

Kr en kirişinin öz ağırlığından oluşan geril me " ज " aşağı daki ifade ile el de edilir.

$$\sigma_{1} = \frac{\left(\mathbf{q}_{\mathrm{K}} + \mathbf{q}_{\mathrm{P}}\right) \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{L}_{\mathrm{K}}^{2}}{8 \cdot W_{\mathrm{xK}}}$$
(13)

4.4.2 Arabanı n özağırlığı ndan oluşan geril me " 🕁 "

Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme, arabanın öz ağırlığının doğurduğu momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir. Arabanın öz ağırlığından kaynaklanan momentin kiriş boyunca dağılımı Şekil 4.9'de görülmektedir.



Şekil 4.9 Arabanın öz ağırlık momentinin kirişteki dağılımı

Ar abanı n öz ağırlığının doğur duğu tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen maksi mum mo menti " M" nin hesabı için ar abanı n yerinin bulun ması gereklidir. Bunun içinde B desteğindeki mo ment hesaplanır ve buradan F_A kuvveti

$$F_{A} \cdot L_{K} = F_{TAA} \cdot (L_{K} - x) + F_{TAA} \cdot (L_{K} - x - L_{A})$$
(14.a)

$$F_{A} = \frac{F_{TAA}}{L_{K}} \cdot (2 \cdot L_{K} - 2x - L_{A})$$
(14.b)

ol ar ak bul unur.

Buradan (14.a) eşitliğinden el de edilen FA kuvveti x mesafesi ile çarpılarak

$$M_{Fx} = F_A \cdot x = \frac{F_{TAA}}{L_K} \cdot \left(2 \cdot L_K \cdot x - 2 \cdot x^2 - L_A \cdot x \right)$$
(15)

mo menti el de edilir.

Maksi mum değeri bul mak için denklemin türevini alınarak sıfıra eşitlenir.

$$\frac{dM_{Fx}}{dx} = 0 = \frac{F_{TAA}}{L_{K}} \left(2 \cdot L_{K} - 4 \cdot x - L_{A} \right)$$
(16)

(16) ifadesinde sağ taraftaki paranteziçi sıfır ol acaktır.

$$2 \cdot L_{K} - 4 \cdot x - L_{A} = 0$$

Böylece x mesafesi

$$x = \frac{L_K}{2} - \frac{L_A}{4} \tag{17}$$

ol arak bul unur.

(21) eşitliğinden bulunan x değerini türevi alınan (15) ifadesine yazılırsa aranılan maksi mum moment,

$$M_2 = \frac{F_{TAA}}{8 \cdot L_K} (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(18)

şeklinde el de edilir.

Ar abam n öz ağırlığının doğur duğu tekerlek kuvvetleri ($F_{TAA} = \frac{F_{AA}}{4}$) alı narak, kirişteki arabamın öz ağırlığının doğur duğu kuvvetten ileri gelen eğilme momentini veren (18) ifadesinde yerine yazılırsa,

$$M_2 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_K} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(19)

el de edilir. Arabanın öz ağırlığından oluşan geril me " $_{\mathcal{D}}$ " (19) ifadesi ve arabanın mukave met momenti W_{KK} ile

$$\sigma_2 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_K \cdot W_{xK}} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(20)

4.4.3 Kaldır ma yükünden oluşan geril me " 😎 "

Kaldır ma yükünün ağırlık kuvvetinden ileri gelen gerilme, kaldır ma yükünün doğur duğu Şekil 4 10' da görülen momentin oluştur duğu eğilme gerilmesi dir.



Şekil 4.10 Kaldır ma yükünün öz ağırlık momentinin kirişteki dağılı m

Kal dırılan yükün doğur duğu tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen moment "Ms" (18) eşitliğinden ve Şekil 4.10'dan yararlanılarak

$$M_3 = \frac{F_{TY}}{8 \cdot L_K} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(21)

şeklinde yazılır.

Ar aba tekerleklerinin herbirine yükten ileri gelen kuvvet ($F_{TY} = F_Y/4$) alındığında, kirişteki kaldırılan yükün doğurduğu kuvvetten ileri gelen (21) ifadesindeki eğilme momentinin yeni değeri aşağıda gösteril miştir.

$$M_3 = \frac{F_Y}{32 \cdot L_K} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(22)

Kal dırılan yükten oluşan geril me " σ_3 ", (22) ifadesi ve arabanın mıkave ment mo menti W_{KK} dı kkate alındı ğında

$$\sigma_3 = \frac{F_Y}{32 \cdot L_K \cdot W_{xK}} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2$$
(23)

ifadesi ile hesaplanır.

4.4.4 At al et kuvvetlerinden oluşan geril me " 😋 "

Vi nç kirişi ve arabanın kütlesinin doğur duğu atalet kuvvetinden oluşan geril meyi DI N 15018 e göre hesaplanan yatay kuvvetler ile hesaplanır. Şekil 4.11'da kiriş üzerinde etkili olan atalet kuvvetleri görül mektedir. DI N 15018'e göre ivme veya frenle meden doğan kütle kuvvetlerinin sonucu yatay tekerlek kuvveti şu şekilde hesaplanır (vi nç tekerlekleri ayrı ayrı tahrik edildiği kabul edil miştir.).



Şekil4.11 Kiriş üzerindeki atalet kuvvetleri

At alet kuvvetlerinden ileri gelen moment "M, "Şekil 4,11 yardı mıyla

$$M_4 = \frac{L_K}{2} \cdot K_{r1} \tag{25}$$

olarak yazılır.

Vi nç tekerleğindeki ivme ve frenle meden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{1} (sürtün me kuvveti) ise

$$K_{r1} = 1,5 \cdot \mu \cdot (\min R_{Kr1} + \min R_{Kr2})$$
(26)

dır.

Burada kullanılan 1,5 katsayısı bilinmeyen etkenleri göz önüne almak ve hesabı gereksiz yere detaylı yapma mak için seçil miştir.

Sürt ün me kat sayısı μ , ray ve vinç tekerlekleri arasındaki kuvvet bağıntısını kurar. Ray ve tekerlek çiftinin mal zemel eri çelik ol duğundan burada $\mu = 0, 2$ alınır. Bunun yanında kritik durum arabanın kirişin tam ortasında ol masıdır. Böylece kiriş ve arabanın öz ağırlığının kren tekerleklerindeki mini mum dik kuvveti min $R_{Kr1} = minR_{Kr2}$ ve $K_{r1} = K_2$ kabul edilirse, kren tekerleğindeki ivme ve frenle meden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{r1} 'i veren (26) ifadesinin düzenlen miş hali

$$K_{r1} = 1, 5 \cdot 0, 2 \cdot \min R_{Kr1} = 0, 3 \cdot \min R_{Kr1}$$
 (27)

dir.

Ki riş ve arabanı n öz ağırlığı nı n vi nç tekerlekleri ndeki mini mu m di k kuvveti mi n R_{Kr1}

$$\min \mathbf{R}_{\mathrm{Krl}} = \frac{\varphi \cdot (\mathbf{q}_{\mathrm{K}} + \mathbf{q}_{\mathrm{P}}) \cdot \mathbf{g} \cdot \mathbf{L}_{\mathrm{K}}}{2} + \frac{\mathbf{F}_{\mathrm{AA}}}{4}$$
(28 a)

$$\min \mathsf{R}_{\mathsf{Kr1}} = \frac{1}{2} \cdot \left[\phi \cdot \left(\mathsf{q}_{\mathsf{K}} + \mathsf{q}_{\mathsf{P}} \right) \cdot g \cdot \mathsf{L}_{\mathsf{K}} + \frac{\mathsf{F}_{\mathsf{A}\mathsf{A}}}{2} \right]$$
(28 b)

olarak el de edilir.

Burada,

F_{AA}= Arabanı n öz ağırlığını n her bir tekerlekteki kuvveti,

 $\varphi = 1.1$ Öz ağırlık katsayısı,

 $L_K = K \ddot{o} pr \ddot{u} a c k l 1 \check{g},$

 $q_{\rm K} + q_{\rm P} = {\rm Kiri}$ ş ve platformun biri mboy ağırlığ,

g = 9.81 N/ mm² yerçeki mi ivmesi.

Bul unan değer (27) ifadesi nde yeri ne yazıl dığı nda,

$$K_{r1} = 0,3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\phi \cdot \left(q_{K} + q_{P} \right) \cdot g \cdot L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$

$$K_{r1} = 0,15 \cdot \left[\phi \cdot \left(q_{K} + q_{P} \right) \cdot g \cdot L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
(29.a)
(29.b)

)

el de edilir.

Böylece atalet kuvvetlerinden oluşan eğilme momenti "M/",

$$M_{4} = \frac{L_{K}}{2} \cdot 0,15 \cdot \left[\phi \cdot \left(q_{K} + q_{P} \right) \cdot g \cdot L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
 (30 a)

$$M_4 = 0,075 \cdot L_K \cdot \left[\phi \cdot \left(q_K + q_P \right) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
(30.b)

ol acaktır.

At al et kuvvetlerinden ol uşan geril me " σ_4 " ise (30. b) if adesi ve W_{YK} mukave met mo mentine göre

$$\sigma_{4} = \frac{0.075 \cdot L_{K}}{W_{yK}} \cdot \left[\varphi \cdot \left(q_{K} + q_{P} \right) \cdot g \cdot L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
(31)

ol acaktır.

4.4.5 Araba kasıl məsi sonucu oluşan geril me " os "

Şekil 4.12'de görülen kren kirişinde araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetin " F_{ATH} " doğurduğu eğil me momentinden ileri gelen geril me, FEMe göre

$$\sigma_5 = \frac{M_5}{W_{yK}}$$
(32)

ol acaktır.



Şekil 4.12 Araba kasıl ması sonucu oluşan kuvvetler

Ar aba kasıl masından ileri gelen yatay kuvvet den ileri gelen moment ise Şekil 4 12'den

$$M_5 = L_A \cdot F_{ATH}$$
(33)

olarak yazılır.

Araba kasıl masından ileri gelen araba tekerleğindeki yatay kuvvet FATH (yan kuvvet),

$$F_{ATH}=k_{\lambda}\cdot F_{TD} \qquad (34)$$

Burada kullanılan yatay yük katsayısı k_{λ} kiriş ray açıklığı ile araba tekerlek açıklığı oranına bağlı olarak bulunur. Genellikle köprü vinçlerinde daha emniyetli hesap değerleri için k_{λ} değeri maksi mum değeri olan 0,2 kabul edilir.

Tekerlekteki dik kuvvet F_{TD}ise,

$$F_{TD} = \frac{F_{AR}}{4} + \frac{F_{Y}}{4} = \frac{F_{AR} + F_{Y}}{4}$$
(35)

olarak bulunur.

Burada,

 $F_{AR} = Arabanı n ağırlı k kuvveti$

F_Y = Kaldır ma yükü

dür.

Böyl ece bul unan değerler (34) ifadesi nde yerl eştiril diğinde, yatay kuvvet

$$F_{ATH} = 0,2 \cdot \frac{F_{AA} + F_{Y}}{4} = 0,05 \cdot (F_{AR} + F_{Y})$$
 (36)

dır.

Araba kasıl masından ileri gelen yatay kuvvetlerin doğur duğu eğilme momenti ise,

$$M_5 = L_A \cdot F_{ATH} = 0,05 \cdot L_A \cdot (F_{AA} + F_Y)$$
(37)

olarak el de edilir.

Ar aba kasıl masından ileri gelen gerilme " σ_5 ", (37) if adesi ve W_{YK} mukave met momenti dikkate alınırsa,

$$\sigma_{5} = \frac{0.05 \cdot L_{A}}{W_{YK}} \cdot (F_{AA} + F_{Y})$$
(38)

olarak yazılır.

4.5 Kren Krişindeki Kayma Geril mesi "t_{op}"

Kren kirişindeki toplam kayma geril mesi (τ_{top}), iki ayrı tipteki kayma geril mesi (torsiyon ve kes me) süperpozisyonundan oluşur. Her iki geril me halinde de hiperstatik bir durum vardır. Gerek burul ma momentinden gerek kes me kuvvetinden ileri gelen kayma gerilmelerinin tam olarak belirlen mesi için kayma akı mlarının hiperstatik momentlerinin ve kayma merkez noktasının bulun ması gerekir. Ancak bu tip hesapla bulunan gerilme de bizi mkullanacağı mız daha basit yaklaşık bir hesapla ma yönte mi ile bulunan geril meler arasında çok az fark vardır, ve bu farklar hesabın e mniyeti bakımından önemlidir.

$$\tau_{t \text{ op}} = \tau_t + \tau_k \tag{39}$$

Burada,

 τ_t = Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen burul ma geril mesi,

 τ_k = Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi.

4.5.1 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsiyon geril mesi " ъ "

Kirişte asi metrik olarak araba tekerleklerindeki dik ve yatay kuvvetlerden ileri gelen burul ma momentinin doğurduğu torsiyon (burul ma) geril mesidir.



Şekil 4.13 Kıriş kesiti

Torsi yon geril mesi τ_t ;

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \tag{40}$$

dır.

Torsiyon momenti M, Şekil 4.13' de görülen B_m noktasını burul ma merkezi olarak kabul edersek, araba tekerleklerindeki dik ve yatay kuvvetlerden ileri gelen burul ma momenti,

$$M_{t} = (x_{4} - d) 2F_{TD} + y_{5} 2F_{ATH}$$
(41)

olarak yazılır.

Burada daha önce vinçte kabul edilen değerlere göre d = 0 alındığında ve $F_{ATH}=0.2F_{TD}$ ol duğuna göre (41) ifadesi,

$$M_{t} = x_{4} \cdot 2 \cdot F_{TD} + y_{5} \cdot 2 \cdot 0, 2F_{TD} = 2F_{TD} \cdot (x_{4} + 0, 2y_{5})$$
(42 a)

$$M_{t} = 2 \cdot \frac{F_{AA} + F_{Y}}{4} \left(x_{4} + 0.2 \cdot y_{5} \right)$$
(42 b)

$$M_{t} = (x_{4} + 0.2y_{5}) \cdot \frac{F_{AA} + F_{Y}}{2}$$
 (42 c)

el de edilir.

Torsiyon mukavemet momenti W, Bredt'in Şekil 4.14'de görülen ortalama alan tanımına göre yapılacaktır.



Şekil 4.14 Bredt'in ortalama alantanı m

Buna göre W değeri,

$$W_t \approx 2 A_m t \tag{43}$$

dir.



Şekil 4.15 Bredt'e göre kiriş ortalama alanı

Burada Şekil 4 15' de görülen kiriş ortalama alanı,

$$A_{m} = (x_{2} + x_{4}) \cdot (y_{1} + y_{3})$$

$$(44)$$

olarak yazılır.

Böyl ece tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen Torsiyon geril mesi " τ_t ", (42 c) ve (47) ifadeleri kullanlarak,

$$\tau_{t} = \frac{(x_{4} + 0.2 \cdot y_{5})(F_{AA} + F_{Y})}{4 \cdot t_{2} \cdot (x_{2} + x_{4})(y_{1} + y_{3})}$$
(45)

şeklinde yazılır.

4.5.2 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi " τ_k "

Kes me geril mesi veya kes me yükü, arabanın kendi ağırlık kaldır ma yükünün ağırlık ve kirişin kendi ağırlık kuvvetlerinden ileri gelen geril medir. Kes me kuvvetlerinin köprü kirişi üzerindeki dağılı mı Şekil 4 16'de görülmektedir.



Şekil 4.16 Kes me kuvvetlerinin kiriş üzerindeki dağılı m

Kes me geril mesi, kes me kuvvetinin kirişin kes meye karşı koyan alanına (Şekil 4.17) bölünürse;

$$\tau_{k} = \frac{F_{k}}{A_{k}} \tag{46}$$

ol arak hesapl anır.



Şekil 4 17 Kes me kesiti A

Bir kirişteki maksi mum kes me yükü F_{k max},

$$F_{kmax} = \frac{\Psi \cdot F_Y}{2} + \frac{\gamma \cdot F_{AA}}{2} \tag{47}$$

olarak yazılır.

Burada,

F_Y= Kal dır ma yükü,

 F_{AA} = Araba öz ağırlığının tekerlekteki değeri,

 $\gamma_c = y \ddot{u} ks elt me kat sayısı.$

Bir kirişteki kesil me etkisinde olan alan A_{k} ,

$$A_{k} = 2 \cdot t_{2} \cdot h_{2} \tag{48}$$

dir.

Böyl ece kren kirişinde tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi " τ_k ", (47) ve (48) if adelerinden;

$$\tau_{k} = \frac{\Psi \cdot F_{Y} + \gamma \cdot F_{AA}}{4 \cdot t_{2} \cdot h_{2}}$$
(49)

olarak el de edilir.

4.6 Statik Kontrol İçin Emniyetli Mıkave met Değeri " σ_{EM} "

Statik kontrol için e miyet mukave met değeri σ_{EM} Tablo 4.6' da görül mektedir.

Mal ze me ci nsi		Yükle mehali	Enmiy etli karşılaş tır ma mukav e met	e nni ye tli çek me mukav e met	e mi ye tli bas ma mukav e met	e mi ye tli kay ma mu kav e met
			değeri	değeri	değeri	değeri
Ki saltıl			σ _E	EM	σ_{EM}	τ_{em}
is mi	Nor mu		N r	nm^2	N mm ²	N mm ²
	DI N 17	Н	160		140	92
St 37	7 100 HZ		180		160	104
	DI N 17	Н	240		210	138
St 52-3	100	HZ	27	70	240	156

Tablo 4.6 Köprü malze mesi için e nni yetli mukave met değerleri

Kut u kiriş St 37 mal zemesinden i mal edil mektedir. St 37 için enniyet mukave met değeri σ_{EM} = 160 N/ mm² dir. Bu değer çek me geril mesi içindir. Bir kut u kirişte görül müştür ki çek me kuvvetlerinden kaynaklanan hasar ve defor masyonlar bas ma kuvvetlerinin meydana getirdiği hasardan daha fazla ol maktadır. Bu yüzden genellikle hesapla malarda statik kontrol için esas alınan geril me enniyetli çek me geril mesi dir. Ancak yapılan hesaplarda kontrol açısından bas ma geril mesinin de di kkate alın ması hesabın doğrul uğu açısından öne mli dir. Tablo 4.6' dan enniyetli bas ma mukave met değeri σ_{EM} = 140 N/ mm² dir.[12]

4.7 Dinamik Kontrol İçin Emniyetli Mukave met Değeri

Mal ze menin sürekli dinami k e nmi yetli mukave met değeri daha çok sınır değerler oranı κ ile çentik et kisine bağlıdır. Sınır değerler oranı κ (kapa) şu şekilde bulunur;

 $\kappa = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = \frac{F_{min}}{F_{max}}$

Geril mel er kuvvet ile doğru orantılı ol duğundan, geril mel er oranı yerine kuvvet oranı yaz makta bir sakınca yoktur. Sınır değerler oranı k'nın hesaplan masında kuvvetin değeri ve yönü göz önüne alın malıdır.

Statik yükleme halinde;

$$\begin{split} F_{ni\,n} &= F_{max} & --> \quad ve \qquad \kappa = + \ 1 \\ \sigma_{ni\,n} &= \sigma_{max} \end{split}$$

Dal galı (di na mik) yükleme hali nde ise;

$$\begin{split} F_{ni\,n} &\geq 0 \text{ ve } \ F_{max} > + 1 \text{ vede } \quad 0 \leq \kappa < + 1 \\ \sigma_{ni\,n} &\geq 0 \text{ ve } \ \sigma_{max} > + 1 \\ \text{ol acaktur.} \end{split}$$

özel haldeise;

 $\sigma_{min} = 0$

dir.

Değişken yükleme halinde;

Bu yükle me durumlarının en kiritiği olan tam değişken yükle me, ($\kappa = -1$) hesaplar da karşılaştır ma mukave met değeri bu yükle me durumunun et kisindeki çek me et kisi için seçilir. Çünkü pratikte görül müştür ki bas ma geril mesi büyük ol masına rağmen çatla malar ve sonucu olan kop malar malze menin çek me et kisi tarafından ol maktadır. Tablo 4.7'de malze menin e mniyetli mukavemet değerleri " $\sigma_{D(-1)EM}$ "vinç konstrüksi yonundaki çentik guruplarına göre verilmiştir.

Mal ze meni n ci nsi		St 37		St 52-3				
mukave met	R	m = 340 N mm	ń	$R_{\rm m} = 490$ N mm ²				
değerleri	F	$R_e = 240$ N mm	n n	$R_e = 350 \text{ N mm}^2$				
çentik gurubu	K2 K3 K4			K2	K3	K4		
Yükleme gurubu	κ =-1 içi	$\kappa = -1$ için mal ze menin emniyetli mukave met değeri $\sigma_{\Omega(-1)EM}$ N m						
U1, U2	180	180	152	270	254	152		
U3	180	180	108	252	180	108		
U4, U5	178	127	76	178	127	76		
U6	126	90	54	126	90	54		
U7	89	63	38	89	63	38		
U8, U9	63	45	27	63	45	27		

Tablo 4.7.a) $\kappa = -1$ için malze menin emniyetli mukavemet değerleri

 $\sigma_{D(-1)EM}$ değeri ile $\sigma_{D(\kappa)EM}$ değeri arasındaki bağıntı Şekil 4.18'de görül mektedir.



Şekil 4 18 $\sigma_{D(-1)EM}$ değeri ile $\sigma_{D(\kappa)EM}$ değeri arasındaki bağıntı
Şekil 4. 18' ye bağlı olarak Tablo 4. 7. b)' de κ ile bağıntılı malzemenin üst mukave met değeri görül mektedir.

Değişken		5
böl ge	çekme	$\sigma_{Dz(\kappa)EM} = \frac{1}{3 - 2\kappa} \cdot \sigma_{D(-1)EM}$
-1 < κ < 0	bas ma	$\sigma_{\text{Dd}(\kappa)\text{EM}} = \frac{2}{1 - \kappa} \cdot \sigma_{\text{D}(-1)\text{EM}}$
Dal galı böl ge	çekme	$\sigma_{Dz(\kappa)EM} = \frac{\sigma_{Dz(0)EM}}{1 - \left(1 - \frac{\sigma_{Dz(0)EM}}{0.75 \sigma_{B}}\right)\kappa}$
$0 < \kappa < +1$	bas ma	$\sigma_{Dd(\kappa)EM} = \frac{\sigma_{Dd(0)EM}}{1 - \left(1 - \frac{\sigma_{Dd(0)EM}}{0,90 \sigma_{B}}\right)\kappa}$

Tablo 4.7. b) kile bağıntılı malzemenin üst mukavemet değeri

Gezer köprülü vinçlerde κ negatif değer alamayacağından burada sadece dalgalı yükleme (sınır değer oranı $0 \le \kappa \le +1$) için gerekli for müller geçerlidir.

Sürekli dina mik e miyetli çek me geril mesi;

$$\sigma_{DZ(\kappa)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{0,75 \cdot R_m}\right) \cdot \kappa}$$
(50)

Sürekli dina mik e miyetli bas ma geril mesi ise;

5	σD(-1)EM	
$ODd(\kappa)EM = 3$	$1 - \left(1 - \frac{5}{2} \cdot \frac{\sigma D(-1)EM}{2}\right) \cdot \kappa$	
	· (' 3 0,90·R _m) "	

olarak yazılır.

4.8 Kren Krişindeki Çentik Grubu

K2 Grubu Şekil 4 19. 1'de görüldüğü gibi kaynak dikişi malzemeye özel kaynak ağızı açılarak özel kalitede K dikişi olarak yapıl mıştır.

K3 Grubu Şekil 4 19.2'de görül düğü gibi kaynak dikişi malzemeye kaynak ağzı açılarak normal kalitede K dikişi olarak yapıl mıştır.



Şekil 4.19.1, K2-Gurubu

Şekil 4.19.2, K3-Gurubu

K4 Grubu kaynak di kişi Şekil 4.19.3 ve Şekil 4.19.4'te görül düğü gi bi mal ze meye kaynak ağzı açılarak normal kalitede yarı m ve di kişi ve çift taraflı köşe di kiştir.



Şekil 4 19.3, K4- Gurubu, yarım V-dikişiŞekil 4 19.4, K4- Gurubu, çift köşe dikişiBurada verilen kiriş raylarının altındaki yan levha kaynak bağlantısına göre çentikgurubu seçilir. Çentik grubunun seçi mine göre kirişin ağırlığı yani boyutlarının

değiş mesi gerekli olduğundan, K3 Gurubunu seç mek ve kiriş i malatını buşartlara göre yap mak uygundur.

Fakat yükleme gurubu U6 ve daha yüksekise, çentik gurubunun K2 seçilmesi daha uygun olacaktır.

4.9 Yan Levhal arı n Buruş maya Karşı Kontrol ü

Kiriş yan levhalarında meydana gelen geril meler Şekil 4.20'da görül mektedir.



Şekil 4.20 Kiriş yan levhasındaki geril meler

Yan levhadaki i deal flambaj geril mesi (DIN 4114T1);

$$\sigma_{\text{VPi}} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 3\tau_{\text{max}}^2}}{\frac{1+\kappa}{4}\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{Pi}}} + \sqrt{\left(\frac{3-\kappa}{4}\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{Pi}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{Pi}}}\right)^2}$$
(52)

dir.

Kren kirişinde kayma geril mesi sıfır değildir, yani $\tau \neq 0$ ve sınır değerler oranı $\kappa = -1$ olarak alınırsa kren kirişindeki ideal flanbaj mukayese geril mesi



ol arak bul unur.

Levhadaki i deal flambaj (buruş ma) nor mal gerilmesi, levhadaki Euler gerilmesinin buruş ma katsayısı k_{σ} ile çarpıl masıyla bulunur.

$$\sigma_{\text{Pi}} = \mathbf{k}_{\sigma} \sigma_{\text{e}}$$
 (54)

Levhadaki flambaj için geçerli gerilme Euler gerilmesidir. Euler gerilmesifor mülü, malzemenin mekanik değerleri ve konstruksiyonu yapılan parçanın boyutları ile kurulacak olursa,

$$\sigma_{\rm e} = \frac{\pi^2 \cdot \mathbf{E}}{12 \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \left(\frac{\mathbf{t}_2}{\mathbf{h}_2}\right)^2 \tag{55}$$

olarakifade edilir.

4.10 Üst Kuşak Levhal arının Buruş maya Karşı Kontrol ü

Üst kuşak levhası na et kiyen geril meler Şekil 4.21'de görül mektedir. Burada τ kay ma geril mesidir. σ ise nor mal geril medir. t₁ üst kuşak levhası nı n kalınlığını, L_{Pe} perdeler arası mesafeyi, bise üst kuşak levhası nı n genişliğini göster mektedir.



Şekil 4.21 Kiriş Üst Levhasına Etkiyen Geril meler ve Ö çüler

Üst kuşak levhası ndaki i deal fla mbaj geril mesi;

$$\sigma_{\text{VPi}} = \frac{\sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 3\tau_{\text{max}}^2}}{\frac{1+\kappa}{4}\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{Pi}}} + \sqrt{\left(\frac{3-\kappa}{4}\frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma_{\text{Pi}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{Pi}}}\right)^2}$$
(56)

Burada $\kappa = +1$ içinideal flanbaj karşılaştır ma geril mesi;

$$\sigma_{\text{VPi}} = \frac{\sigma_{\text{V}}}{\frac{\sigma_{\text{max}}}{2\sigma_{\text{Pi}}} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{max}}}{2\sigma_{\text{Pi}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{Pi}}}\right)^2}$$
(57)

(56) ve (57) ifadel eri DIN 4114 nor mu tarafından kabul edilen değerlerdir [13]. Ayrı ca bul unan bur uş ma (flambaj) geril melerinin kontrolüiçin standart geril me değerleri Tablo 4.8' de görül mektedir.

o _{vpi} N mm²	$\sigma_{\rm VP}$ N mm ²		ovpi N mm²	ovp N	mm²
	St 37	St 52-3		St 37	St 52-3
< 157	OVPi	OVPi	360	228	320
192	192	OVPi	380	229	325
200	198	OVPi	400	230	328
210	204	OVPi	420	231	331
220	208	OVPi	440	232	334
230	211	OVPi	460	232	336
240	214	OVPi	480	233	338
250	216	OVPi	500	233	339
260	218	OVPi	550	234	343
270	219	OVPi	600	235	345
280	221	OVPi	650	235	347
288	221	288	700	236	348
290	222	290	800	237	351
300	223	297	1000	237	353
320	225	308	2000	239	357
340	227	315	∞	240	360

Tablo 4.8 İdeal flambaj geril meleri için hakiki flambaj geril meleri

4.11 Ģft Krişli Köprülü Kren Hesap Örneği

Şekil 4.22' de görülen çift kirişli köprülü kren hesabı yapılırken aşağıdaki teknik veriler esas alınmıştır.



Şekil 4.22 Ģft kirişli köprülü kren

Kullanılan yer :	Ağır sanayi işi yapan atölye
Krentipi:	Çift kirişli gezer köprülükren
Kaldırma yükü:	$G_y = 35000 \text{ kg}$ $F_y = G_y \cdot g$ $F_y = 343350 \text{ N}$
Kaldırmahızı:	$v_{\rm H} = 2.7 \ \text{m/} \ \text{dk}$
Köprü açı klığı :	$L_{\rm K} = 13 {\rm m}$
Arabanın hızı:	$v_A = 20 m/ dk$
Araba özağırlığ :	$F_{AA} = 3000 \ kg \qquad \qquad F_A = F_{AA} \ g \qquad \qquad F_A = 29430 \ N$
Kren hızı :	$v_F = 15 \ m/ \ dk$
Ar aba tekerlek aks açı klığı:	$L_A = 2 m$
Ar aba tekerlek sayısı :	$n_{Rad} = 4$
El astiste modul ü:	$E = 210000 \text{ N/ mm}^2$
Poisson orani:	$v_{St} = 0.3$

4.11.1 Kren grubunun seçil mesi

Kren grubunun belirlen mesinde ilk olarak projesi yapılacak olan krenin yük kaldır ma sayısının tayin edil mesi gereklidir. Tablo 4.1' den U4 nu maralı maksi mum kaldır ma sayısı seçil miştir. U4 için maksi mum kullanı msayısı 125000 $< n_{max} \le 250000$ değeri ile sınırlandırıl mıştır.

Daha sonra yapılacak olan işlem krenin kullanım süresince yük dağılımının belirlenmesi gerek mektedir. Bunun için Tablo 4.2'de k_p yük dağılı mfaktörü değerinin seçil mesi gerek mektedir. Bu değer $0.25 < k_p \le 0.5$ olarak seçil miş ve Q3 değeri uygun görül müştür.

Üçüncü ve son adı molarak Tablo 4. 3'ten U4 ve Q3 değerleri kullanılarak A5 tipi köprülü kren seçil miştir.

Tablo 4.4'ten atelye tipi krenler için vinç grubunun A3 – A5 seçil mesi uygun görül müştür.

4.11.2 Yükle me ti pi ni n belirlen mesi

Yükleme tipi olarak yüklemenin H hali (ana yük) seçil miştir. Projesi yapılan çift kirişli gezer köprülü kren atelye içinde çalışacaktır. Herhangi bir rüzgar kuvvetine maruz kal mayacağı düşünül müştür.

4.11.3 Yükselt me katsayısının "γ_c" seçil mesi

Yükselt me katsayısının tayininde Tablo 4.5 esas alın mıştır. Kren grubu A5 için yükselt me katsayısı $\gamma_c = 1.11$ olarak belirlen miştir.

4.11.4 Kal dır ma yükü katsayısının "ψ" seçil mesi

Kaldırma yükü katsayısının seçilmesinde krenin yük kaldırma hızı dikkate alınmaktadır. Şekil 4.3'den kaldırma hızı $V_k = 2.7 \text{ m/dk}$ için $\psi = 1.15$ olarak seçilmiştir.

4.11.5 Köprütipinin belirlen mesi

Köprü tipi olarak çift kutu kiriş konstrüksi yonu seçil miştir.

4.11.6 Kutu kirişin eğilme atalet ve mukave met no mentinin hesaplanması

İlk olarak kiriş üzerine etki yen tekerlek kuvvetinin hesaplan ması gerekir.

$$F_{\text{Tek}} = \frac{F_{\text{Y}} + F_{\text{A}}}{n_{\text{Tek}}} \implies F_{\text{Tek}} = \frac{343350 + 29430}{4} \implies F_{\text{Tek}} = 93195 \text{ N ol arak bul unur.}$$

Gerekli atalet momenti;

$$J_{xerf} = \frac{F_{Tek} (L_{K} - L_{A})}{48 E f_{K}} \left[3L_{K}^{2} - (L_{K} - L_{A})^{2} \right]$$

$$J_{xerf} = \frac{93195(13000 - 2000)}{48.210000.13} [3.13000^2(13000 - 2000)^2]$$

 $J_{xerf}=3020.\ 10^6\ mm^4\ ol\ arak\ bul\ unur.$

4.11.7 Kiriş seçi mi ve hesabı

CES AN st andart doubl ebea mkat al oğundan $J_{xerf} = 3020.10^6 \text{ mm}^4 \text{ i çi n DB20 nol u kut u kiriş seçilir. (Ek- B)}$



Şekil 4.23 Standart kutu kirişin hesap ölçüleri

DB20 nol u kut u kiriş öl çül eri şunlardır;

 $B_1 = B_2 = 500 \, \text{mm} \qquad t_1 = t_3 = 10 \, \text{mm} \qquad t_2 = t_4 = 6 \, \text{mm} \qquad h_2 = h_4 = 1200 \, \text{mm}$

 $b_R = 50 \text{ mm}$ $h_R = 30 \text{ mm}$

Kiriş ölçüleri belirlendikten sonra parçaların ve sistemin alanının hesaplanması gereklidir.

 $A_{1} = B_{1} t_{1} \implies A_{1} = 5000 \text{ mm}^{2}$ $A_{2} = h_{2} t_{2} \implies A_{2} = 7200 \text{ mm}^{2}$ $A_{R} = b_{R} h_{R} \implies A_{R} = 1500 \text{ mm}^{2}$ $A_{I} = A_{3} \quad \text{ve} \quad A_{2} = A_{4}$ $A_{Top} = A_{4} + A_{2} + A_{3} + A_{4} + A_{R}$

 $A_{\text{Top}} = 25900 \text{ mm}^2 \text{ ol arak bul unur.}$

Sistemin alanı hesaplandıktan sonra sistemi oluşturan parçaların ve kirişin ağırlık mer kezinin koordinatlarının bulun ması gerek mektedir.

- $X_l = 0, 5. B_l$ $X_l = 250 mm$
- $X_2 = b_B + 0, 5.t_2$ $X_2 = 40 \text{ mm}$
- $X_3 = 0, 5. B_3$ $X_3 = 250 \text{ mm}$
- $X_4 = \ B_2 \ -(\ b_B + 0, \ 5. t_2 \) \qquad \qquad X_4 = \ 460 \ mm$
- $X_{R} = B_{2} (b_{B}+0, 5.t_{2})$ $X_{R} = 460 \text{ mm}$
- $Y_1 = 0, 5.t_1$ $Y_1 = 5 \, mm$
- $Y_2 = t_1 + 0, 5, h_2$ $Y_2 = 610 \text{ mm}$
- $Y_3 = t_1 + 0, 5.t_1 + h_2$ $Y_3 = 1215 \text{ mm}$
- $Y_4 = t_3 + 0, 5, h_4$ $Y_4 = 610 \text{ mm}$
- $Y_R = t_1 + t_1 + h_2 + 0, 5h_R$ $Y_R = 1235 \text{ mm}$

$X_{s_1} = X_s - X_t$	$X_{s_1} = 12.2 \mathrm{mm}$	$Y_{Sl}=Y_{S}-Y_{l}$	$Y_{S1} = 641.2 \text{ mm}$
$X_{s_2} = X_s - X_{s_1}$	$X_{s_2} = 222.2 \text{ mm}$	$Y_{S2} = Y_S - Y_2$	$Y_{s2} = 46.2 \mathrm{mm}$

 $Y_{SR} = 46.2 \, \text{mm}$

$$X_{S} = \frac{X_{1}.A_{1} + X_{2}.A_{2} + X_{3}.A_{3} + X_{4}.A_{4} + X_{R}.A_{R}}{A_{Top}}$$

 $X_{s} = 262.2 \, \text{mm}$

$$Y_{S} = \frac{Y_{1}.A_{1} + Y_{2}.A_{2} + Y_{3}.A_{3} + Y_{4}.A_{4} + Y_{R}.A_{R}}{A_{Top}}$$

 $Y_{S} = 646.2 \, mm$

X eksenine göre atalet momenti " I_x "

$$I_{x} = I_{x1} + y_{1}^{2} A_{1} + I_{x2} + y_{2}^{2} A_{2} + I_{x3} + y_{3}^{2} A_{3} + I_{x4} + y_{4}^{2} A_{4} + I_{x5} + y_{5}^{2} A_{5}$$

$$I_{x1} = I_{x3}$$
; $I_{x2} = I_{x4}$; $A_1 = A_3$; $A_2 = A_4$; $y_2 = y_4$

$$I_x = 2(I_{x1} + I_{x2}) + I_{x5} + (y_1^2 + y_3^2)A_1 + 2y_2^2A_2 + y_5^2A_R$$

$$I_X := \frac{b_1 \cdot t_1^3}{12} + \frac{t_2 \cdot h_2^3}{12} + \frac{b_3 \cdot t_3^3}{12} + \frac{t_4 \cdot h_4^3}{12} + \frac{b_R \cdot h_R^3}{12} + Y_{S1}^2 \cdot A_1 + Y_{S2}^2 \cdot A_2 + Y_{S3}^2 \cdot A_3 + Y_{S4}^2 \cdot A_4 + Y_{SR}^2 \cdot A_R + Y_{S1}^2 \cdot A_1 + Y_{S2}^2 \cdot A_2 + Y_{S3}^2 \cdot A_3 + Y_{S4}^2 \cdot A_4 + Y_{S1}^2 \cdot A_8 + Y_{S1}^2 \cdot$$

 $I_{X \text{ op}} = 5436. \ 10^6 \ \text{mm}^4$

Y- Eksenine göre atalet momenti " $I_{\rm y}$ "

$$\begin{split} I_{y} = I_{y1} + x_{1}^{2} A_{1} + I_{y2} + x_{2}^{2} A_{2} + I_{y3} + x_{3}^{2} A_{3} + I_{y4} + x_{4}^{2} A_{4} + I_{y5} + x_{5}^{2} A_{5} \\ I_{y1} = I_{y3} ; I_{y2} = I_{y4} ; A_{1} = A_{3} ; A_{2} = A_{4} ; x_{1} = x_{3} \\ I_{y} = 2 (I_{y1} + I_{y2}) + I_{y5} + (x_{2}^{2} + x_{4}^{2}) A_{2} + 2 x_{3}^{2} A_{1} + x_{4}^{2} A_{R} \end{split}$$

$$I_{Y} := \frac{b_{1}^{3} \cdot t_{1}}{12} + \frac{t_{2}^{3} \cdot h_{2}}{12} + \frac{b_{3}^{3} \cdot t_{3}}{12} + \frac{t_{4}^{3} \cdot h_{4}}{12} + \frac{b_{R}^{3} \cdot h_{R}}{12} + X_{S1}^{2} \cdot A_{1} + X_{S2}^{2} \cdot A_{2} + X_{S3}^{2} \cdot A_{3} + X_{S4}^{2} \cdot A_{4} + X_{SR}^{2} \cdot A_{R}$$

 $I_{Y_{top}} = 906. \ 10^6 \ mm^4$

X-Eksenine göre mukavemet momenti " W "

Hesaplarda maksi mum geril me kullanıldığından mini mum mukave met momenti ni hesapla mak gerekli dir. Mini mum mukave met momenti, e_{max} ve u_{max} ile hesaplanır.

$$W_{X} = \frac{I_{Xtop}}{e_{max}} \qquad e_{max} = Y_{S} \qquad u_{max} = X_{S}$$

$$W_{X1} = 8412 \text{ cm}^3$$
 $W_{X2} = 9232 \text{ cm}^3$

 $W_{\rm Y} = \frac{I_{\rm Ytop}}{u_{\rm max}}$

 $W_{Y1} = 3455 \text{ cm}^3$ $W_{Y2} = 3810 \text{ cm}^3$

4.12 Kren Kirişindeki Normal Ceril melerin Hesaplanması

4.12.1 Kren özağırlığından oluşan geril me" o_l"

$$F_{AK} = (q_{K} + q_{P}) \cdot g \cdot L_{K} \implies F_{AK} = 1,73.9,81.13000 \implies F_{AK} = 220627 \text{ N}$$

 $M_1 = \frac{F_{AK} \cdot L_K}{8} \qquad \Longrightarrow \qquad M_1 = \frac{220627.13000}{8} \qquad \Longrightarrow \qquad M_1 = 2868151000 \text{ Nmm}$

$$\sigma_{l} = \frac{(q_{K} + q_{P})g_{LK}^{2}}{8.W_{X1}} \implies \sigma_{l} = \frac{1,73.9,81.13000^{2}}{8.8412000}$$

 $\sigma_l = 42.6~N/~mm^2$

Bul unan geril me değeri uygundur. Çünkü ($\sigma_{EM}=160 \text{ N}/\text{mn}^2$) e nmi yetli geril me değeri nden küçükt ür. Siste mi mizde platfor m kullanıl madığı için q_P=0 dır.

4. 12. 2 Araba özağırlığından oluşan geril me" $\sigma_{\!2}$ "

$$\mathbf{M}_{2} = \frac{\mathbf{F}_{AA}}{32 \cdot \mathbf{L}_{K}} \left(2 \cdot \mathbf{L}_{K} - \mathbf{L}_{A} \right)^{2} \qquad \mathbf{M}_{2} = \frac{29430}{8.13000} \left(2.13000 - 2000 \right)^{2}$$

 $M_{1} = 162996923$ Nmm

$$\sigma_2 = \frac{F_{AA}}{32.L_{K}W_{X1}} (2.L_{K} - L_{A})^2 \qquad \sigma_2 = \frac{29430}{32.13000.8412000} (2.13000 - 2000)^2$$

 $\sigma_{\!2} = 4.73 \ N/ \ mm^2$

Uygundur. Çünkü ($\sigma_{EM}=160 \text{ N/mn}^2$) e mi yetli geril me değerinden küçüktür.

4.12.3 Kaldır mayükünden ileri gelen geril me" 🔈 "

$$M_{3} = \frac{F_{Y}}{32 \cdot L_{K}} \cdot (2 \cdot L_{K} - L_{A})^{2} \qquad M_{3} = \frac{343350}{32.13000} (2.13000 - 2000)^{2}$$

 $M_{s} = 475407692, 3$ Nmm

$$\sigma_{3} = \frac{F_{Y}}{32.W_{X1}.L_{K}} (2.L_{K} - L_{A})^{2} \qquad \sigma_{3} = \frac{343350}{32.8412000.13000} (2.13000 - 2000)^{2}$$

 $\sigma_3 = 50.5 \text{ N/ mm}^2$

Bul unan geril me değeri uygundur. Çünkü ($\sigma_{EM}=160 \text{ N}/\text{mn}^2$) e mni yetli geril me değeri nden küçükt ür.

4. 12. 4 Atalet kuvvetlerinden ileri gelen geril me " 😋 "

$$M_{4} = 0.075.L\kappa \left[(q_{K} + q_{P}).g.L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
$$M_{4} = 0,075.13000 \left[1,73.9,81.13000 + \frac{29430}{2} \right]$$

M₄ =229458352.5 Nmm

$$\sigma_{4} = \frac{0.075.L_{K}}{W_{Y1}} \left[(q_{K} + q_{P}).g_{L}L_{K} + \frac{F_{AA}}{2} \right]$$
$$\sigma_{4} = \frac{0.075.13000}{3455000} \left[1,73.9,81.13000 + \frac{29430}{2} \right]$$

 $\sigma_4 = 10.5 \text{ N/ mm}^2$

Bul unan geril me değeri uygundur. Çünkü ($\sigma_{EM}=160 \text{ N} / \text{mm}^2$) e mni yetli geril me değerinden küçüktür. Ayrı ca yaptığı mız hesaplarda $q_P=0$ dır. Çünkü sistemi mizde platfor m kullanıl ma maktadır.

4.12.5 Araba kasıl ması sonucu oluşan geril me " os "

$$F_{TD} = \frac{F_{AA}}{4} + \frac{F_{Y}}{4} = \frac{F_{AA} + F_{Y}}{4} \qquad F_{TD} = \frac{29430}{4} + \frac{343350}{4} \qquad F_{TD} = 93195 \text{ N}$$

$$F_{ATH} = k_{\lambda} \cdot F_{TD}$$
 $F_{ATH} = 0, 2.$ 93195 $F_{ATH} = 18639$ N

$$M_5 = L_A \cdot F_{ATH} = 0,05 \cdot L_A \cdot (F_{AA} + F_Y)$$
 $M_s = 2000.18639$ $M_s = 37278000$ Nmm

$$\sigma_{5} = \frac{0.5}{W_{Y1}} \left(F_{AA} + F_{Y} \right) \qquad \sigma_{5} = \frac{0.05.2000}{3455000} \left(29430 + 343350 \right)$$

 $\sigma_5 = 13.7 \text{ N/mm}^2$ Bulunan geril me değeri uygundur. Çünkü ($\sigma_{EM}=160 \text{ N/mm}^2$) e nmi yetli geril me değerinden küçüktür.

4. 12. 6 Maksi mum ve nini mum geril nelerin hesaplan ması " σ_{max} , σ_{min} "

Maksi mum geril me;

 $\sigma_{\max} = \gamma_c. (\sigma_1 + \sigma_2 + \psi. \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)$

 $\sigma_{ma\,x}\!=$ 1. 11 (42.6 + 4.73 + 1.15.50.5 + 10.5 + 13.73)

 $\sigma_{max} = 143.9 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$

M ni mum geril me;

 $\sigma_{min} = (\sigma_1 + \sigma_2) \qquad \sigma_{min} = 42.6 + 4.73$

 $\sigma_{m\,n}=$ 47.33 N/ mm² dr.

Bul unan maksi mum ve mi ni mum geril me değerleri uygundur. Çünkü her i ki değer de $(\sigma_{EM}=160 \text{ N/mn}^2)$ e mni yetli geril me değerinden küçükt ür.

4.13 Kirişte Meydana Gelen Kayma Geril melerinin Hesaplan ması

4. 13. 1 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsiyon geril mesi " au "

Torsi yon momenti (42 c) ifadesi nden,

$$M_{t} = (x_{4} + 0.2y_{5}) \cdot \frac{F_{AA} + F_{Y}}{2} \qquad M_{t} = (212 + 0.2588, 8) \cdot \frac{29430 + 343350}{2}$$

M =61463966.4 Nmm

ol arak hesapl anır.

Ortal a ma kiriş al anı ise (44) ifadesinden,

$$A_m = (x_2 + x_4) \cdot (y_1 + y_3)$$
 $A_m = (212 + 212) \cdot (605 + 605)$

 $A_m = 513040 \text{ mm}^2$ bul unur.

Buna göre torsi yon gerilmesi,

$$\tau_{t} = \frac{(x_{4} + 0.2 y_{5}).(F_{AA} + F_{Y})}{4. t_{2}.(x_{2} + x_{4}).(y_{1} + y_{3})} \qquad \tau_{t} = \frac{(212 + 0.2.58)(29430 + 343350)}{4.6.(212 + 212)(605 + 605)}$$

 $\tau_t = 9.98 \text{ N/ mm}^2$

bul unur. Tabl o 4.6' dan e mi yetli kay ma geril mesi $\tau_{EM}=92$ N/ mn² dir. Bul unan geril me değeri e mi yet geril mesi değeri nden küçük ol duğu için uygundur.

4. 13. 2 Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi " τ_k "

Maksi mumkes me yükü,

$$F_{kmax} = \frac{\psi \cdot F_Y}{2} + \frac{\gamma \cdot F_{AA}}{2} \qquad F_{kmax} = \frac{1,15.343350}{2} + \frac{1,11.29430}{2}$$

 $F_{k max} = 213760 N$

ol arak bul unur.

Kes me al anı ise,

 $A_k = 2 \cdot t_2 \cdot h_2$ $A_k = 2 \ 6 \ 1200$ $A_k = 14400 \ mm^2$

olarak bulunur.

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kes me geril mesi,

 $\tau_k = \frac{\psi.F_{\rm Y} + \gamma_c.F_{\rm AA}}{4.t_2.h_2} \qquad \qquad \tau_k = \frac{1,\!15.343350 + 1,\!11.29430}{2.6.1200}$

 $\tau_k = 14.84 \text{ N/ mm}^2$

bul unur. Tabl o 4.6' dan e mi yetli kay ma geril mesi τ_{EM} = 92 N/ mn² dir. Bul unan geril me değeri e mi yet geril mesi değeri nden küçük ol duğu i çi n uygundur.

4.13.3 Ki rişteki toplam kayma geril mesi

Kirişteki toplam kayma geril mesi,

$$\tau_{top} = \tau_t + \tau_k$$
 $\tau_{top} = 9.98 + 14.84$

 $\tau_{t op} = 24.82 \text{ N/ mm}^2$

dir. Tablo 4.6' dan e nniyetli kay ma geril mesi τ_{EM} = 92 N / mn² dir. Hesaplanan geril me değeri uygundur.

4.13 Kren Krişindeki Bleşke Geril meler

Burada geril meler bir eksenli olarak kabul edilir ve Biçi m Değiştir me Enerjisi hipotezine göre toplanır. Bileşke geril me,

$$\sigma_{\rm V} = (\sigma_{\rm max}^2 + 3\tau_{\rm top}^2)^{1/2}$$
 $\sigma_{\rm V} = (143.9^2 + 3.24.82^2)^{1/2}$

 $\sigma_{\rm V} = 150.186$ N/ mm²

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değer çek me geril me değeridir. Tablo 4.6'dan e mni yetli çek me geril mesi $\sigma_{EM}=160 \text{ N} / \text{mn}^2$ dir. Dolayısı yla hesaplanan bileşke geril me e mni yet geril me değerinden küçük olduğu için uygundur.

4.14 Nor mal Bas ma Geril mesi ni n Hesaplan ması

Hesaplamalarda basma gerilmesinin hesaplanması ve kontrolünün yapılması gereklidir. Basma gerilmesi hesaplanırken normal gerilme formüllerinde emniyetli basma mukavemet momentinin kullanılması gerekmektedir.

X ekseni ne göre bas ma mukave met değeri,

 $W_{X2} = 9232 \text{ cm}^3$

Y ekseni ne göre bas ma mukave met değeri,

 $W_{Y2} = 3810 \text{ cm}^3$

4.15.1 Kren öz ağırlığından oluşan geril me" σ_{IB} "

 $\sigma_{IB} = \frac{(q_{K} + q_{P})g_{LK}^{2}}{8.W_{X2}} \implies \sigma_{IB} = \frac{1,73.9,81.13000^{2}}{8.9232000} \implies \sigma_{IB} = 38.8 \text{ N/mm}^{2}$

4.14.2 Araba öz ağırlığından oluşan geril me " oz B"

$$\sigma_{2B} = \frac{F_{AA}}{32.L_{K}W_{X2}} (2.L_{K} - L_{A})^{2} \quad \sigma_{2B} = \frac{29430}{32.13000.9232000} (2.13000 - 2000)^{2}$$

 $\sigma_{2B} = 4.31 \text{ N/mm}^2$

4. 15.3 Kaldır mayükünden ileri gelen geril me " 🕫 "

$$\sigma_{3B} = \frac{F_{Y}}{32.W_{X2}.L_{K}} (2.L_{K} - L_{A})^{2} \qquad \sigma_{3B} = \frac{343350}{32.9232000.13000} (2.13000 - 2000)^{2}$$

 $\sigma_{3B} = 46 \text{ N/ mm}^2$

4.15.4 At al et kuvvetlerinden ileri gelen geril me " σ_{4B} "

$$\sigma_{4B} = \frac{0.075.L\kappa}{W_{Y2}} \left[(q_K + q_P).g.L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right] \quad \sigma_{4B} = \frac{0.075.13000}{3810000} \left[1,73.9,81.13000 + \frac{29430}{2} \right]$$

 $\sigma_{4B} = 9.57 \text{ N/ mm}^2$

4.15.5 Araba kasıl ması sonucu duşan geril me " σ_{B} "

$$\sigma_{5B} = \frac{0.5}{W_{Y2}} \left(F_{AA} + F_{Y} \right) \qquad \sigma_{5B} = \frac{0.05.2000}{3810000} \left(29430 + 343350 \right)$$

 $\sigma_{\!5\,B}=12.48~N\!/~mm^2$

4. 15. 6 Maksi mum ve mini mum geril melerin hesaplan ması " o_{Bmax}, o_{Bmin}"

$$\sigma_{Bmx} = \gamma_c. \left(\sigma_{IB} + \sigma_{2B} + \psi \cdot \sigma_{3B} + \sigma_{4B} + \sigma_{5B} \right)$$

 $\sigma_{Bmx} = 1.11(38.8 + 4.31 + 1, 15.46 + 9.57 + 12.48)$

 $\sigma_{B\,max} = 131 \text{ N/ mm}^2$

$$\sigma_{Bnin} = \sigma_{IB} + \sigma_{2B}$$
 $\sigma_{Bnin} = 38.8 + 4.31 = 43.11 \text{ N/ mm}^2$

4.16 Bileşke Basma Gerilmesi

Burada geril meler bir eksenli olarak kabul edilir ve Biçim Değiştir me Enerjisi hipotezine göre toplanır. Bileşke geril me,

$$\sigma_{VB} = (\sigma_{Bmx}^2 + 3\tau_{top}^2)^{1/2} \sigma_V = (131^2 + 3.24.82^2)^{1/2}$$

 $\sigma_V = 133.4 \text{ N/ mm}^2$

olarak hesaplanır. Tablo 4.6'dan emniyetli çek me geril mesi $\sigma_{EM}=140 \text{ N/mn}^2$ dir. Dolayısıyla hesaplanan bileşke geril me emniyet geril me değerinden küçük olduğu için uygundur.

4.17 Dinamik Kontrol

Gezer köprülü vinçlerde κ negatif değer alamayacağından burada sadece dalgalı yükleme (sınır değer oranı $0 \le \kappa \le +1$) için gerekli for müller geçerlidir.

Hesabi yapılan örnekte kren grubu U5, çentik grubu K3 ve $\kappa=0$ (en kötü hal)için sürekli dina mik çek me geril mesi,

Tabl o 4.6 a' dan $\sigma_{DEMK3} = 127$ N/ mm² ol arak seçilir.

σ <u>5</u> σ _{DEMK3}	5 127
$O_{\text{DZEMK3}} = \frac{3}{1} \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{\text{DEMK3}}}{0.75 \cdot P} \right) \cdot \kappa$	$O_{Dz}(\kappa) EM = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{127}{0.75.340}\right)}$

 $\sigma_{Dz (\kappa)EM} = 180.9 \text{ N/mm}^2$

ol arak hesapl anır.

 $\sigma_{Dz \ (\kappa) EM} = 180.9 \ \text{N/mn}^2 > \sigma_V = 150.186 \ \text{N/mn}^2 \ \text{ol dugu için sisteme mi yetli dr.}$

4.18 Yan Levhal arı n Buruş maya Karşı Kontrolü

Yan levhaların buruş maya karşı kontrolü yapılırken DIN 4114T1 normu esas alınmıştır. DIN 4114T1 normuna göre ideal buruşma gerilmesi (53) ifadesinden,



olarak yazılır.

Levhadaki i deal flambaj (buruş ma) nor mal gerilmesi, levhadaki Euler gerilmesinin buruş ma katsayısı k_{σ} ile çarpıl masıyla bulunur.

 σ_{Pi} = $k_{\sigma} \sigma_{e}$

Levhadaki flanbaj için geçerli geril me Euler gerilmesidir ve Euler geril mesi for mülü, malze menin mekanik değerleri ve konstruksiyonu yapılan parçanın boyutları ile kurulacak olursa,

$$\sigma_{e} = \frac{\pi^{2} \cdot E}{12 \cdot (1 - \upsilon^{2})} \cdot \left(\frac{t_{2}}{h_{2}}\right)^{2} \qquad \text{E=210000 N/ mm}^{2} \text{ ve } \nu = 0.3 \text{ i } \text{ cin } \sigma_{e} = 189800 \cdot \left(\frac{t_{2}}{h_{2}}\right)^{2}$$

 $\sigma_{\!e}=4.745~N/~mm^2~d\,ur.$

Nor mal buruş ma katsayısı Ek-C den κ =-1 değeri için k_o = 23.9 seçilir.

Kayma buruşma katsayısı Ek-C den

$$\alpha = \frac{L_{Pe}}{h_2} \qquad \alpha = \frac{1.5}{1.2} = 1.25 \ge 1 \text{ of duğu i çi n,}$$

$$k_{\tau} = 5.34 + \frac{4}{\alpha^2}$$
 $k_{\tau} = 5.34 + \frac{4}{1.25^2}$ $k_{\tau} = 7.9 \, d \, u\tau$

Levhadaki i deal flambaj nor mal geril mesi,

$$\sigma_{Pi} = k_{\sigma} \sigma_{e}$$
 $\sigma_{Pi} = 23, 9.4.745$ $\sigma_{Pi} = 112 \text{ N/mm}^2 \text{ ol ur.}$

Levhadaki i deal flanbaj kay ma geril mesi,

$$\tau_{\rm H} = k_{\rm t} \cdot \sigma_{\rm t}$$
 $\tau_{\rm H} = 7, 9, 4.745$ $\tau_{\rm H} = 37.5$ N/mm² olur.

İdeal buruş ma geril mesi,



 $\sigma_{Vpi}~=104~N/~mm^2$ d arak bul unur.

4.19 Üst Levhanın Buruş maya Karşı Kontrolü

Üst kuşak levhası ndaki i deal flambaj geril mesi $\kappa = +1$ için,

	σν
σ _{VPi} -	$\frac{\overline{\sigma_{\text{max}}}}{2 \sigma_{\text{Pi}}} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\text{max}}}{2 \sigma_{\text{Pi}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{Pi}}}\right)^2}$

ol ur. Bu değer DIN 4114 T1'e göre seçil miştir.

Ek-C den Normal buruşma katsayısı,

$$k_{\sigma} = \frac{8.4}{1.1 + \kappa}$$
 $k_{\sigma} = \frac{8.4}{1.1 + 1}$ $k_{\sigma} = 3.818 \text{ dur.}$

Ek- C den kay ma bur uş ma kat sayı sı,

$$k_{\tau H} = 5.34 + (4/\alpha_{H}^{2})$$
 $k_{\tau H} = 5.66$ bul unur.

Euler geril mesi,

$$\sigma_{\rm e} = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \upsilon^2)} \cdot \left(\frac{t_1}{b_{\rm H}}\right)^2 \qquad \sigma_{\rm e} = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{12 \cdot (1 - 0.3^2)} \cdot \left(\frac{10}{426}\right)^2 \qquad q = 104.6 \text{ N/mm}^2 \text{ dr.}$$

Üst levhadaki i deal flambaj nor mal geril mesi,

 $\sigma_{Pi} = k_{\sigma} \cdot \sigma_{e}$ $\sigma_{Pi} = 3,818 \cdot 104, 6$ $\sigma_{Pi} = 399.4 \text{ N/mm}^2 \text{ ol ur.}$

Üst levhadaki ideal flambaj kayma geril mesi,

 $\tau_{P1} = k_{\tau\,H} \; \sigma_{\!\! E} \qquad \tau_{P1} = 5,66 \; . \; \; 104,6 \qquad \qquad \tau_{P1} = 592 \; \; N/ \; \; mn^2 \; \; d\, ur.$

Üst kuşak levhası ndaki i deal fla mbaj geril mesi,

6	150.186
Ovpi –	$\frac{143.9}{2.399,4} + \sqrt{\left(\frac{143.9}{2.399,4}\right)^2 + \left(\frac{24,82}{592}\right)^2}$

 $\sigma_{VPi}~=411.35~N/~mm^2$ olur.

Tabl o 4 8' den $\sigma_{VP1} = 411.35 \text{ N/mn}^2$ değeri için haki ki flanbaj (bur uş ma) geril mesi $\sigma_{VP} \approx 220 \text{ N/mn}^2$ dir. Dol ayı sı yla $\sigma_{VP1} = 411.35 \text{ N/mn}^2 > \sigma_{VP} \approx 220 \text{ N/mn}^2$ ol duğu için kiriş üst başlık levhası nda bur uş ma tehlikesi yokt ur.

5. YAPI LAN ÇALI Ş MALAR

5.1. Kren Köprüsünün Katı Modellen mesi ve Katı Ele manların Gösteri mi

Katı modelle mesi yapılacak olan kren çift kirişli köprülü krendir. Katı modelle me yapıl madan önce hesapsal yönte mlerle kren köprüsünün boyutları belirlen melidir. Bir çift kirişli kren köprüsü te mel olarak a.) üst plaka, b.) alt plaka, c.) 2 adet yan levha, d.) perdeler ol mak üzere 4 adet parçadan oluş maktadır. Katı modelle me yapılırken Solid Works katı model paket program kullanıl mıştır.

5.1.1. Üst plakanın katı modelle mesi

İlk olarak Solid works programında sketch açıl mıştır ve üst plaka boyutları (500 x 10) çizil miştir. Modelle mede kullanılan ölçüler mm (mili metre) dir.



Şekil 5.1.1 Üst plaka kesiti ve ölçüleri

Daha sonra üst plaka boyunca (13230) ekstrude edil miştir.



Şekil 5.1.2 Üst plaka katı modeli

5.1.2 Alt Plakanın Katı Modelle mesi

İlk olarak Solidworks programında sketch açıl mıştır ve alt plaka boyutları (500 x 10) çizil miştir.



Şekil 5.1.3 Alt plaka kesiti ve ölçüleri

Daha sonra alt plaka boyunca (10780) ekstrude edil miştir.



Şekil 5.1.4 Alt plaka katı modeli

5.1.3. Yan levhanın katı modelle mesi

İlk olarak Solidworks programında sketch açılmıştır ve yan levha ölçüleri ile modelle me yapılmıştır.



Şekil 5.1.4 Yan levha ölçüleri

Ölçüleriyle oluşturulan yan levha katı mıodel oluşturul mak üzere 6 mm ekstrude edildi.



Şekil 5.1.5 Yan levha katı modeli

5.1.4. Perdenin katı modellen mesi

Per de öl çül eri doğrultusunda sketch açılarak çizilir.



Şekil 5. 1. 6 Per de ölçüleri



Şekil 5.1.7 Per de katı modeli

5.1.5 Kren köprüsünün katı modelinin gösterimi

Kren köprüsünü oluşturan herbir eleman katı model olarak çizildikten sonra montaj yapılarak kren köprüsü oluşturulur. Burada ek olarak raylar ve başlıkta çizil miştir.



Şekil 5.1.8 Kren köprüsü katı modeli



Şekil 5.1.9 Kren köprüsünün wireframe olarak gösterimi

5.2. Sonl u Ele manl ar Metodunun Köprül ü Krene Uygul an ması

Köprülü krenler yapı itibariyle katı model yapılardır. Sonlu elemanlar met oduyla analiz yapılırken ilk olarak akla gelen analizin tetrahedral elemanlarla yapıl masının uygun olacağıdır. Yalnız kreni oluşturan elemanların boyutsal olarak yapıları gereği kuadratik eleman kullanmak daha uygundur. Çünkü kalınlıklarının boylarına oranı (t / L < 1 / 20)'den büyük ol duğu için kren köprüsünün yüzey olarak modellen mesi ve analiz yaparken parçaların kalınlıklarının girilerek hesap yapıl ması daha sağlıklı bir sonuç verecektir.

5.2.1 Krenin yüzey modelle mesi

Krenin yüzey modeli oluşturulurken solidworks paket programı kullanılmıştır. Kullanılan bu programda yüzey tipi olarak ekstrude yüzey kullanılmıştır. Krenin iç kısmında bulunan perdelerde ekstrude yüzey kullanılmıştır. Daha sonra levhalar ve perdeler birleştirilmiştir ve komple yüzey modeli tamamlanmıştır.



Şekil 5.2 Kren köprüsü yüzey modeli

5.2.2 Kren yüzeyi nde ağ (mesh) ol uşt ur ul ması

Kren yüzey modeli MSC Patran programında açılır. Sonlu elemanlar metoduyla analizin ilk safhası olarak yüzey modele ağ (mesh) oluşturulur.



Şekil 5.3 Yüzeyde ağ oluşturul ması

Kren yüzeyinde ağ oluşturulurken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta elemanların uç noktalarının birbiriyle çakışık olması gerekmektedir. Böylece sistemin sürekli olması sağlanmaktadır. Sistemin sürekli olması sistem çözümü ve alınacak sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.



Şekil 5.4 Ağın detay görünüşü

5.2.3 Sin r değerlerinin modele uygulan ması

Köprülükren yüzeyi ne ağ oluşturul duktan sonra analiz yapıl ması için sınır değerlerin giril mesi gerek mektedir. Sistemi mizde sınır değerler olarak uç noktalardan başlık ölçülerinde sabit kabul edilmiş ve krene etkiyen toplam yük kren açıklığının tam ortasında olacak şekilde (ray yüzeyi üzerinde) F=372780 Nolarak uygulan mıştır. Her bir köprüye gelen kuvvet F=186390 Nolmaktadır. Bu yük araba tekerlek açıklığı boyunca i ki noktadan uygulan maktadır. Böylece her bir noktaya etkiyen yük F=93195 Nolacaktır. Yükün krenin tamortasında ve sabit olduğu kabul edilmiştir.

5.2.4 Geril me sonuçları

MSC. Patran programında model için gerekli işlemler yapıldıktan sonra sistem çözdürülür. Gerilme değeri sonuçları ve görünümü Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de görülmektedir.



Şekil 5.6 Geril me analizi sonuçları



Şekil 5.7 Geril me analizi sonuçları



Şekil 5.8 Yan levhada oluşan geril me değerleri



Şekil 5.9 At levhaya et ki yen geril melerin gösteri mi



Şekil 5.10 Per de üzerindeki geril mel erin analiz sonucu gösteri mi



Şekil 5.11 Ceril me analizi önden görünüş



Şekil 5.12 At levhaya et kiyen geril me-açı klık grafiği

5.2.5 Yer değiştir me sonuçları

Yapılan analiz sonucu meydana gelen yer değiştir meler Şekil 5. 13 ve Şekil 5. 14 de görül mektedir.



Şekil 5.13 Kırişte meydana gelen yer değiştir meler



Şekil 5.13 Kiriş üzerindeki yer değiştir meler



Şekil 5.15 Yer değiştir me grafiği

5.2.6 Frekans analizi sonuçları

Frekans analizi yapılırken frekans aralığı 0-100 hertz arasında kabul edilmiştir ve belirlenen frekans aralığında 5 farklı frekans değeri için değişim Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de görülmektedir.



Şekil 5.16 İlk frekans değerinde gerçekleşen analiz sonuçları



Şekil 5.17 İkinci frekans değerinde gerçekleşen analiz sonuçları



Şekil 5.18 Üçüncü frekans değerinde gerçekleşen analiz sonuçları



Şekil 5.19 Dör düncü frekans değerinde gerçekleşen analiz sonuçları

Şekil 5.20 Beşinci frekans değerinde gerçekleşen analiz sonuçları
5.3. Kren Köprüsüİmalat Esasları

1. Üst plaka plate üzerine konur ve sabitleme aparatları ile sabitlenir. Burada plate daha önce üzeri su terazisi veya başka bir düzlem düzeltici vasıtası yla doğrusallığı sağlanmış yapıdır. Sabitleme yapıldıktan sonra merkezleme işlemi yapılır. Merkezleme işlemi yapılırken levhanın yan yüzeylerinin, ön ve arka yüzeylerinin düzgün ol ması gerek mektedir. Ayrıca sabitleme aparatlarının da yüzeyi düzgün ol malıdır. Aksi halde tam bir merkezleme ve sabitleme işlemi gerçekleştirilmiş ol maz. Merkezleme işleminin amacı hem düzgün boyutlar elde et mek hem de kaçıklıktan meydana gelebilecek gerilmeleri ortadan kaldırmaktır.



Şekil 5.3.1 Üst plakanın plate üzerine yerleşi mi

2. Üst levha merkezlendikten sonra diğer levha yine aynı işlem basamakları yapılarak merkezlenir ve daha önce sabitlenen üst levhaya kaynatılır.



Şekil 5.3.2 Üst levhanın sabitlen mesi ve kaynaklan ması

3. Per del er verilen i malat ölçülerine göre kesilir. Daha sonra per del ere köşebent yuval arı açılır.



Şekil 5.3.3 Köşebent yuvaları açılan perde

4. Perdeler üst levhaya iç kısı mlarından (ön ve arka) ilk olarak punta kaynağı yapılarak sabitlenir.



Şekil 5.3.4 Per del erin üst levhaya punt al an ması

5. İç kısı mlardan punta kaynağı ile üst levhaya sabitlenen perdelerin i malat ölçülerine uygun olarak sabitlenip sabitlen mediği kontrol edilir. Uygun görüldükten sonra iç ve dış kısı mlardan kaynak yapılır.



Şekil 5.3.5 Per del erin üst levhaya kaynaklan ması



6 Yan levha üst plakaya belirlenen ölçü yerinden puntalanarak sabitlenir.

Şekil 5.3.6 Yan levhanı n punt al an ması

7. Yan levha daha önceden sabitlenmiş diğer yan levhaya ve diğer köprü elemanlarına kaynakla sabitlenir.



Şekil 5.3.7 Yan levhanın diğer yan levha ve köprü elemanlarına puntalan ması

8. Puntalanarak sabitlenen yan levhaların i malat ölçülerine uygun olup ol madığı kontrol edildikten sonra yan levhalar diğer köprü ele manlarına kaynaklanır. Daha sonra iki yan levha birbirine araya parça konarak kaynatılır.



Şekil 5.3.8 Yan levhaların kaynaklı gösteri mi

9. Yan levhaların kaynakla konstrüksiyonu gerçekleştikten sonra yan levhalarda oluşacak buruş ma (flambaj) geril melerini engelle mek için köşebent kaynatılır.



Şekil 3.5.9 Köşebentlerin yan levhaya kaynakla bağlanması

10. 6,7,8,9 nu maralı işlemler diğer tarafa da konulacak olan yan levhalar için tekrarlanır. Ancak diğer taraftaki levhaların birleş me noktalarından bu taraftaki yan levhalar arasındaki kaynak bağlantısı arasında levha boyunun yarısı kadar kaçıklık (mesafe) ol malıdır.



Şekil 3.5.10 Yan levhanın kut u kiriş üzerine yerleşi mi

11. At levha punta kaynağı yapılarak üst kıs ma sabitlenir.



Şekil 5.3.11 Alt levhanın kut u kiriş üzerine sabitlen mesi

12. Kutu kiriş ters çevrilir ve otomatik kaynak hattına yerleştirilir. Kirişin orta kısmına bir parça konur ve uç kısı mlarına hesaplanan sehi m değerini sağlayacak kadar ağırlıklar yerleştirilir. Daha sonra kutu kirişin dış noktalarından eksen boyunca otomatik kaynak makinesiyle kaynak yapılır.



Şekil 3.5.12 Kutu kirişin oto matik kaynak hattına yerleştiril mesi

13. Dışarıdan yan saclar kutu kiriş yatırılarak kaynak yapılır. Kutu kiriş yan levhalarının yan yatırılarak kaynak yapıl ması dik yapılan kaynaktan daha sağlıklı sonuçlar ver mektedir.

14. Üst levhaya ray metod kaynağı ile dik saca (yan) eş merkezli olacak şekilde kaynatılır.



Şekil 3.5.13 Rayın kut u kirişe met od kaynağı ile montajı

15. Kıriş kur ma işlemi (başlıklar üzerine oturtma) gerçekleştirilir. Başlıklar kiriş çatı mında ni voile katları alı narak eksenel düzle mde doğrusallığı sağlanarak başlıklar sabitlenir. Daha sonra kutu kiriş başlıklar üzerine oturtulur ve köprü hazır hale gelir.



Şekil 3.5.14 Kren köprüsünün tamamlanmış hali

5.4. Kren Köprüsüİmalat Kısıtları

Bir kren köprüsü ile ilgili i malat kısıtları aşağı daki maddelerle açı klan mıştır;

- 1.) Kaynak kalitesi,
- 2.) Köprükurul ması,
- 3.) Köprüçatımı.

5.4.1 Kaynak kalitesi

Kutu kiriş konstrüksiyona sahip bir kren köprüsü için imalat hattında kaynak yapılabil mesi ve kaynak kalitesi imalat kısıtlarından biri olarak kabul edilebilir. Çünkü kutu kiriş yapı itibariyle kapalı konstrüksiyona sahiptir. Yan levhaların iç kısı mlarından üst levhaya kaynatılırken meydana gelen yer kısıtlamalarından dolayı kaynak kalitesi diğer bölgeler kadar yüksek ol mamaktadır. Ayrıca köşebentlerin yan levha boyunca üniform bir şekilde kaynaklanması da yer kısıtlamasından dolayı

i malata et kiyen bir kısıtlama olarak kabul edilebilir. Bu bilhassa küçük yükleri taşı yacak olan kutu kirişler için geçerlidir.

5.4.2 Köprü kurul ması

Köprülükrenlerin boyutları genel olarak kren açıklığı ve taşı yacağı yüke bağlı olarak değiş mektedir. Kren köprüsünün boyu örneğin 30 m olabilir. Bu açıklıkta bir köprünün kurulabil mesi için genişliği dar fakat uzunluk olarak büyük bir fabrikanın ol ması gerek mektedir. Bu sağlıklı bir i malat hattının oluşturulabil mesi için gerekli olan en öne mli şartlardan birisidir.

5.4.3 Köprü çatı m

Kutu kiriş i malatı ta mamlandıktan sonra köprü çatı mının yapıl ması yani belirlenen araba açıklığı değerinde kutu kirişin başlıklar üzerine oturtul ması gerek mektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için belirli bir yükseklikte raylı yapının oluşturul ması gerek mektedir. Bu raylı yapı üzerine kren köprüsü kolayca ve istenen araba açıklığında yapılabil melidir. Bunun içinde yapının ölçekli ol ması önemlidir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİ RMELER

Yapılan tez çalış masında katı modelle me, katı modelle me teknikleri, sonlu ele manlar met odu, kren köprü tipleri, kutu kiriş konstrüksiyonu için hesap esasları ve ölçüleri belirlenen kutu kiriş konstrüksiyonu için sonlu ele manlar yönte miyle statik analiz konuları incelen miştir.

Bu çalış mada öncelikli olarak katı modelle me teknikleri araştırıldı ve güncel bir bilgi sayar destekli tasarım programı (CAD) olan Solid Works 2003 kullanıldı. Güncel bir bilgi sayar destekli konstrüksi yon programının kullanıl ması hem kullanıcı hem de oluşturulan katı modelin gerçekliği ve oluştur ma tekniği açısından önemlidir. Çünkü mevcut geometriler ve yüzey bilgi si tam olarak tanı mlanabil mektedir. Bu program İ. T Ü Maki na Fakültesi'nde lisanslı olarak kullanıldığı için seçil miştir.

Kren köprüleri ile ilgili teknik bilgi araştır ması yapılırken CESAN Vinç AŞ fir masından gerekli teknik ve i malat ile ilgili bilgiler alındı. Gerek yapılan tez çalış masında gerekse diğer çalış malarda o konuyla ilgili fir malardan teknik bilgi ve destek al mak araştır ma konularında sonuca ulaş mada kolaylık sağla maktadır. Çünkü günü müzde teknoloji sürekli geliş mekte ve fir malar bu teknoloji ye ayak uydur mak ve kendilerini sürekli yenile mek zorundadırlar. Bu sebepten dolayı yapılan tez çalış masında seçilen kutu konstrüksi yon için yapılan hesap esasları ve teknik bilgiler güncel dir. Dolayısıyla yapılan çalış ma, yapılacak olan diğer benzer çalışmalara yol gösterecek öne mli bir kaynaktır.

Sonlu elemanlar yöntemi günümüz mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan ileri metotlardan birisidir. Bu çalışma da sonlu elemanlar yönteminin teorisi detaylı olarak incelen miştir. Bu incelemede kren köprülerinin sonlu elemanlar yöntemiyle analiz yapılırken katı model olarak değil, yüzey model olarak oluşturul masına karar veril miştir. Çünkü kutu kiriş için kren köprüsünü oluşturan elemanların boyları kalınlıklarının oranı 20 kattan daha büyüktür. Bu türde yapıların katı olarak değil yüzey olarak modellen mesi ve analiz yapılırken kuadratik eleman kullanıl ması analizin doğruluğu açısından önemlidir. Zaten bulunan analiz sonuçları eğer elde edilecektir. Bu da yapılan kabullerin ve analiz sonucunun doğruluğu açısından

öne mlidir. Ayrıca sonlu ele manlar yönte mi ile analiz yaparken güncel ve etkin bir paket programın kullanılması analiz sonuçlarını etkileyen diğer bir faktördür. Bu çalış mada Msc. Patran programı kullanılmıştır. Bu programın kullanılmasında BİAS Mühendislik AŞ'den konuyla ilgili teknik destek alınmıştır.

	1. Analiz	2. Analiz	3. Analiz	4. Analiz
El e man ti pi	Quadratik	Quadratik	Quadratik	Quadratik
El e man sayı sı	754	1508	3016	12064
Nokt a sayı sı	721	1315	2930	11874
Max. geril me (yan levha)	41.3 N mm ²	36.8 N mm ²	33 N mm ²	32.4 N mm ²
Max. geril me (alt levha)	31 N mm ²	41.4 N mm ²	46.3 N mm ²	48.5 N mm ²
Max. yer değiştirme (yan levha)	2. 25 mm	3. 25 mm	3. 84 mm	3. 89 mm

Yapılan analiz sonucu elde edilen değerler aşağı daki tabloda veril miştir;

Yukarıdaki tablo değerleri doğrultusunda 4. analiz sonucunda doğru değerlere ulaşılmıştır. Çünkü bir önceki analiz sonuçları ile, eleman sayısı dört katına çıkarılmasına rağmen, analiz sonuçları arasındaki değişim çok azdır. Bir kren köprüsünde yükü taşıyan en önemli eleman olan yan levha (ray ile eş merkezli) analiz sonucunda 32.4 N mm² gerilme değeri bulun muştur. Ancak yükün uygulandığı bölgelerde gerilmenin çok fazla olduğu görülmektedir. Bu uygulanan yükün araba açıklığında noktasal uygulan ması sonucu o bölgelerde aşırı deformasyon ve gerilme yığılması gözlemlen mektedir. Bu durum analizi yorumlarken ihmal edilmelidir. Asıl önemli olan yan levha boyunca gerçekleşen lineer dağılımlı gerilme değerleridir.

Ayrı ca kren köprülerinde hesapla ma yapılırken esas alınan geril me köprünün tarafsız ekseninden alt bölgesine kadar uzanan çek me geril mesidir. Çünkü pratikte köprüde meydana gelen çatlaklar ve defor masyonlar çek me geril mesi sonucu oluş maktadır. Yapılan analiz sonucunda alt levhaya et ki eden çek me geril mesi değeri 48.5 N mn² olarak bulun muştur. Genel olarak bir kren köprüsü için enniyet katsayısı i malat kalitesine göre 2-3 olarak kabul edil mektedir. Dolayısıyla enniyet katsayısı di kkat e alındığında analiz sonucu oluşan geril me 97 - 145.5 N mn² arasında değiş mektedir. Hesapsal olarak bulunan bileşke geril me değeri $\sigma_V \approx 150$ N mn² dir. Bulunan sonuçlar geril me değerine yakın olduğu için doğrudur ve kabul edilebilir sınırlar dahilindedir.



Yukarı daki grafikte yapılan dört analiz sonucu yan levhada bulunan geril me değerleri gösteril mektedir. 3. analiz ile 4. analiz arasında eğri doğrusallaş maktadır. Dolayısı yla analiz sonucu bulunan geril me değerleri arasındaki fark çok küçük ol maktadır. Bunun sonucunda son yapılan analizin doğruluğu anlaşıl maktadır.



Yukarı daki grafikte yapılan dört adet analizde alt levhada oluşan çek me geril mesi değerleri görül mektedir. 3. analiz ve 4. analiz arasında eğri oldukça doğrusaldır yani bulunan geril me değerleri arasındaki fark çok küçüktür. Dolayısıyla son yapılan analizde bulunan geril me değeri doğrudur.



Yukarı daki grafikte köprülü krende her bir analiz sonucu oluşan yer değiştirme miktarı görül mektedir. Yine 3. ve 4. analiz değerleri arasındaki fark çok küçük olduğu için eğri doğrusallaş mıştır. Dolayısıyla son yapılan analiz doğrudur.

İleride yapılacak olan benzer çalış malarda krenler kaldır ma grubu ile birlikte modellenip sonlu ele manlar yönte miyle dina mik analizi de yapılabilir. Kren köprüsü üzerinde oluşan dina mik geril me değerleri, titreşi m değerleri, yorul ma analizi sonuçları krenler hakkında daha detaylı bilgi edinil mesine yardı meı olacaktır. Yapılan bu çalış ma elde edilen sonuçlar ve kullanılan yönte mier açısından ileriki çalış malara yol gösterecektir.

KAYNAKLAR

[1] Zei d L, 1991. CAD CAM Theory and practice, US A

[2] Mt Mahon C, Browne J, 1993. CAD CAM from principles to practice, US A

[3] Becker A A, 1992. The Boundary Elemant Method İn Engineering Mc Graw-Hill Cambridge.

[4] **Huebner K H,** 1974. Stress Analysis and Mich More, *Machine Design*, January 1974, 92-99.

[5] Akin J. E, 1994. Finite He ment Analyse and Design, Academic Press Limited, London.

[6] **Krisna machari S L**, 1993. Applied Stress Analysis of Plastics: A Mechanical Engineering Approach, Von Nostrand Reinhold, New York.

[7] Beer G and Watson J. O, 1994. Introduction to Finite and Boundary Hement Met hod for Engineers, John Wley.

[8] Knight CE, 1993. The finite element method in mechanical design, PWS-KENT Publishing Company, Boston.

[9] Noboru Kikuchi, 1986. Finite element methods in mechanics, Cambridge Univ. Press.

[10] **Moaveni Saeed**, 1999. Finite element analysis, Minnesota State Univ., Mankato.

[11] **F. E. M.**, 1998. Rules For The Design Of Hoisting Appliances, Booklet 2 and Booklet 3, *Federation de la Manutention*

[12] Kutay MG, 1993. Gezerköprü Vinç Dolu Kiriş Hesapları, Almanya

[13] Alışverişçi M ve Arf D, 1988. Kıriş hesapları, Cesan Teknik Yayınları, İstanbul.

[14] **De mirsoy M**, 1982. Kaldır ma maki neleri, Dokuz Eylül Üniv., İzmir

[15] Eden J. F., 1976. Grane design theory and calculations of reliability, Israel University Press, Israel.

[16] Berg, D V, 1982. Krane und kranbahnen berechnung konstruktion, ausführung,B G Teubner Verlag Stuttgart

[17] **Kettil P. and Wiberg N E,** 2002. Application of 3D solid modeling and simulation programs to a bridge structure, Chalmers University of Technology, Göteborg Sweden.

[18] Çeliktaş M, 1994. Examination of the motion resistance of bridge cranes, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Blimleri Enstitüsü, İzmir.

[19] **De mirsoy M,** 2003. Dolu gövdeli köprülü kren ana kirişinin farklı yük konumlarındaki gerilme analizi, *TMMOB İletim Teknol ojileri Kongre ve Sergisi*, İstanbul, 15-18 Ekim, s 89-97.

[20] **Karakuş S. ve Alışverişçi M.**, 2003. Köprülü vinçlerde kirişlere et ki eden geril melerin incelen mesi, *TMMOB İl eti m Teknol ojileri Kongre ve Sergisi*, İstanbul, 15-18 Eki m. s 245-252.

[21] **DI N 1055T4**, 1993. Last annah me i m hochbau, ver kehrslast en-windlast, Deut che Nor m Ger many.

[22] **DI N 1055 T5**, 1993. Last annah me i m hochbau, verkehrslast en-schneel ast, Deut che Nor m Ger many.

[23] **DI N 15018 T1**, 1993. Krane grundsätze für stahltragwerke berechnung, Deut che Nor m. Ger many.

[24] **DI N 18 800 T3,** 1993. Stahlbauten stabilitätsfälle, plattenbeulen, Deutche Norm, Germany.

EK-B

	В	h	S 1	82	Ry	Rx	e	r1	r2	U1	U2	Fm	Fo	Jx(cm4)	Jy(cm4)	Wx(cm^)	Wy(c m2)	M(mm)	Kesit(F	ağı ı
	25	50	0.6	0.5	2	-	10	21.02	20.59	7.05	11.45	0261	25	20.000	7 000	1 202	477	200)c m2	0.1
DB 01	25	50	U, 6	u, 5	3	р 	18	21,02	29, 58	7, 05	11,45	936, 1	25	38.908	7. 006	1. 302	4//	200	80	81
DB 02	25	50	0, 6	0, 6	3	5	17, 8	21, 43	29, 17	7, 2	11,2	931, 04	30	41. 157	7. 812	1. 397	539	0	90	84
DB 03	25	50	0, 8	0, 6	3	5	17, 8	21, 84	28, 96	7, 36	11,04	934, 72	30	48.041	8. 346	1. 636	582	0	100	92
DB 04	30	60	0, 6	0, 5	3	5	23	25, 96	34, 64	9, 32	14, 18	1424, 1	30	64. 431	12.886	1. 844	739	200	96	94
DB 05	30	60	0, 6	0, 6	3	5	22, 8	26, 39	34, 21	9, 5	13, 9	1418,04	36	68.235	14. 466	1. 977	841	200	108	104
DB 06	30	60	0, 8	0, 6	3	5	22, 8	26, 81	33, 99	9, 68	13, 72	1422, 72	36	79. 884	15.384	2. 323	904	200	120	113
DB 07	30	60	1	0, 6	3	5	22, 8	27, 18	33, 82	9, 84	13, 56	1427, 4	36	91.658	16.299	2. 671	967	200	132	123
DB 08	37, 5	75	0, 6	0, 5	3	5	30, 5	33, 4	42, 2	12, 83	18, 17	2343, 6	37, 5	120.375	26.650	2. 832	1. 244	150-450	120	120
DB 09	37, 5	75	0, 6	0, 6	3	5	30, 3	33, 84	41, 76	13, 04	17, 86	2336, 04	45	127. 668	30. 126	3. 035	1. 423	300	135	127
DB 10	37, 5	75	0, 8	0, 5	3	5	30, 5	33, 92	41, 88	13, 08	17, 92	2349, 8	37, 5	142.740	28. 440	3. 376	1. 343		135	132
DB 11	37, 5	75	1	0, 5	3	5	30, 5	34, 36	41, 64	13, 29	17, 71	2356	37, 5	165.292	30. 224	3. 923	1. 442		150	143
DB 12	37, 5	90	0, 6	0, 5	3	5	30, 5	40, 59	50, 01	13, 08	17, 92	2808, 6	45	183.055	30. 286	3. 639	1. 431	175-550	135	133
DB 13	37, 5	90	0, 8	0, 5	3	5	30, 5	41, 1	49, 7	13, 29	17, 71	2814, 8	45	214.943	32.070	4. 290	1. 530	175-550	150	144
DB 14	37, 5	90	1	0, 5	3	5	30, 5	41, 54	49, 46	13, 46	17, 54	2821	45	247.060	33.84	4. 945	1. 628	175-550	165	156
DB 15	50	100	0, 8	0, 5	3	5	43	46, 38	54, 42	19, 1	24, 4	4384, 8	50	324. 435	70. 743	5. 918	2. 558	175-600	180	171
DB 16	50	100	0, 8	0, 6	3	5	42, 8	46, 75	54, 05	19, 29	24, 11	4374, 72	60	341. 395	79. 952	6. 270	2.917	175-600	200	186
DB 17	50	100	1	0, 5	3	5	43	46, 84	54, 16	19, 33	24, 17	4393, 5	50	376.837	74. 948	6. 894	2. 734	175-600	200	186
DB 18	50	120	0, 8	0, 5	3	5	43	56, 05	64, 75	19, 33	24, 17	5254, 8	60	490.026	80. 243	7. 522	2. 927	175-600	200	188
DB 19	50	120	0, 8	0, 6	3	5	42, 8	56, 49	64, 31	19, 52	23, 88	5242, 72	72	519.234	91.290	8. 024	3. 359	175-600	224	207
DB 20	50	120	1	0, 6	3	5	42, 8	56, 88	64, 12	19, 68	23, 72	5251, 4	72	594.045	95. 481	9. 193	3. 534	175-600	244	223
DB 21	50	120	1, 2	0, 6	3	5	42, 8	57, 23	63, 97	19, 82	23, 58	5260, 08	72	669. 308	99. 668	10. 365	3. 708	175-600	264	238
DB 22	60	150	0, 8	0, 6	3	5	52, 8	71, 42	79, 38	24, 48	28, 92	8052, 72	90	968.301	167. 505	12.136	5. 199	230-650-1050	276	258
DB 23	60	150	1	0, 6	3	5	52, 8	71, 81	79, 19	24, 65	28, 75	8063, 4	90	1. 107. 355	174. 734	13. 896	5. 451	230-650-1050	300	277
DB 24	60	150	1	0, 8	3	5	52, 4	72, 4	78, 6	24, 87	28, 33	8033, 2	120	1. 220. 541	216.212	15.430	6.815	300-900	360	319
DB 25	60	150	1	1	3	5	52	72, 83	78, 17	25, 01	27, 99	8003	150	1. 333. 538	257.046	16.951	8. 163	300-900	420	366

Tablo 10 Cesan Vinç AŞ Gft kiriştablosu

EK C

Yan ve üst levha için buruş ma katsayıları

w.	CASE	$\alpha = \frac{a}{b}$	Kg or Kt
1	Simple uniform compression	α ≧ 1	K ₀ = 4
1	σ - σ=αb	α≦1	$K_{\overline{O}} = (\alpha + \frac{1}{\alpha})^2$
	Non-uniform compression	α≥1	$\kappa_{\sigma} = \frac{8,4}{\Psi+1,1}$
2	G2. ¥6, ∓ b] 0<¥€1	α≦1	$K_{\sigma} = (\alpha + \frac{1}{\alpha})^2 \cdot \frac{2,1}{\Psi + 1,1}$
Pure bend: 3 ponde ⊻ < -	Pure bending $\Psi = -1$ or bending with tension pre- ponderant compary π	α ≧ <u>2</u> 3	K _σ = 23,9
	$\Psi < -1_{\text{Tens.}}$	$\alpha \leq \frac{2}{3}$	$K_{0} = 15,87 + \frac{1.87}{\alpha^{2}} + 8,6 \alpha^{2}$
4	Bending with compression preponderant $-1 < \Psi < 0$ Comp Tens $\sigma_{2\pi}\Psi\sigma_{1}$	K ₀ = (1 where : K' = val K" = val	+ Ψ) K' - Ψ K" + 10 Ψ (1 + Ψ) ue of K _G for Ψ = 0 in case no. 2 ue of K _G for pure bending (case no. 3)
5	Pure shear	α≧1	$\kappa_{\rm T} = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$
-	b	α≦ 1	$K_T = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$

ÖZGEÇ MİŞ

Coşkun ALKI N 1979yılında İzmitte doğdu. İlk, orta ve lise eğiti mini tamamladıktan sonra 1997 yılında Selçuk Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü kazandı. 2001 yılında bölüm 3. sü olarak mezun oldu. 2001 yılında İ. T. Ü. Makina Fakültesi Konstrüksi yon A B D. yüksak lisans programına yerleşti.