KÖPRÜLÜ KRENLERİN KONSTRÜKSİYONU VE HESAP ESASLARI

Y. Doç. Dr. Müh. İsmail GERDEMELİ
İTÜ. Makina Fakültesi

Kaldırma makineleri ve parçalarının konstrüksiyonunda, sistemin kullanım süresince istenen performansta görevini yerine getirmesi dikkate alınması gereken en önemli özelliktir.[11] Bu amaç doğrultusunda ilk olarak dizaynı yapılacak olan kaldırma makinesinin ve parçalarının FEM (Federation Europenne de la Manutention) standardına göre belirlenen çalışma grubu ve süresi belirlenmelidir. FEM standardına göre kaldırma makinelerinin sınıflandırılması 3 gruba göre yapılmıştır. Bunlar;

- Kaldırma makinesi bütün olarak,
- Özel ekipman ve mekanizmalar bütün olarak,
- Yapısal ve mekanik parçalar.

Bu sınıflandırma yapılırken 2 kriter esas alınmıştır. Bunlar;

- Hesaba katılan parçaların toplam kullanım süresi,
- Kanca yükü, yükleme veya herhangi bir parçadaki gerilim dağılımı.

Yükleme Tiplerinin Sınıflandırılması

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

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

Yüklemenin H (ana yük) hali

DIN 15018 standardına göre yüklemenin H hali “ ana yük ” anlamına gelen “Hauptlast” kelimesinin ilk harfi olarak isimlendirilmiştir. Yapılan hesaplarda sadece ana yükten ileri gelen kuvvetler dikkate alınmış ve hesaplar buna göre yapılmış demektir. Genel olarak ana yük, işletmede vince ait olan sabit ve hareketli parçalar ile yükün kaldırması için gerekli elemanların kütleleridir. Bu kütle değerleri yerçekimi ivmesi, " Kaldırma yükü katsayısı ψ " ve " yükseltme katsayısı γ " ile çarpılarak büyütülürler [12].

Ana yük denilince anlaşılması gereken kısımlar ve kuvvetler;

- Kaldırma makinesinin öz ağırlığının kuvveti (Kiriş, araba, kanca, travers, çelik halatlar, kepçe ve magnetler...vb.),
- Kaldırma yükü kuvveti,
- Tahrik ivmesi ve frenlemesinden kaynaklanan kütle kuvvetleri,
- Yük darbeleri sonucu oluşan kuvvet,
- Platform öz ağırlığından ileri gelen kuvvet.

Yüklemenin HZ (ana ve ek yükler) hali

DIN 15018 standardına göre yüklemenin HZ hali "ana ve ek " yükler anlamına gelen " Haupt und Zusatzlasten " ifadesinin ilk harfleri olarak isimlendirilmiştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında ek yüklerde dikkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış demektir [12].

Ek yük denilince anlaşılması gereken kuvvetler;

- Rüzgar kuvveti,
- Kasılmadan ve çarpık hareketlerden ileri gelen kuvvetler,
- Isıdan ileri gelen kuvvetler,
- Kar yükünden ileri gelen kuvvetler,
- Merdivenler, raflar ve korkulukların yük ağırlığından ileri gelen kuvvetler.

Yüklemenin HS (ana ve özel yükler) hali

DIN 15018 standardına göre yüklemenin HS hali "ana ve özel " yükler anlamına gelen " Haupt und Sonderlasten " ifadesinin ilk harfleri olarak isimlendirilmiştir. Yani yapılan hesaplarda ana yükten ileri gelen kuvvetlerin yanında özel yüklerde dikkate alınmış ve hesaplar bunlarla yapılmış demektir.

Özel yük denilince anlaşılması gereken kuvvetler;

- Kaldırma makinesini işletmeye alırken kullanılan kontrol yüklerinden ileri gelen kuvvetler,
- Tampon kuvvetleri,
- İki araba veya iki vinç beraberce bir rayda çalışıyorlarsa, bunların çarpışma kuvveti.

Yükseltme katsayısının " γ_c " seçilmesi

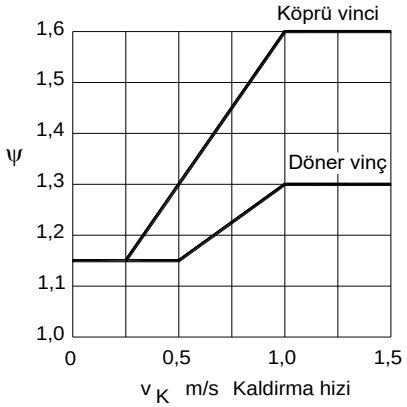
Kaldırma makinesinin çalışma tipine göre FEM ve DIN standartlarına uygun olarak çeşitli tablolar oluşturulmuştur. Yükseltme katsayısının kaldırma grubuna göre seçimi Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Kaldırma grubuna göre yükseltme katsayısı

Kaldırma Grubu	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Yükseltme katsayısı (γ_c)	1.00	1.02	1.05	1.08	1.11	1.14	1.17	1.20

Kaldırma yükü katsayısının " ψ " seçilmesi

Kaldırma yükü katsayısı kaldırma makinesinin (kren veya vincin) kaldırma hızıyla ilgili tayin edilmiş bir katsayıdır. Kaldırma yükü katsayısı " ψ " 1.15 değerinden daha küçük seçilemez. Şekil 1'de kaldırma yük katsayısının kaldırma hızına göre değişimi görülmektedir.

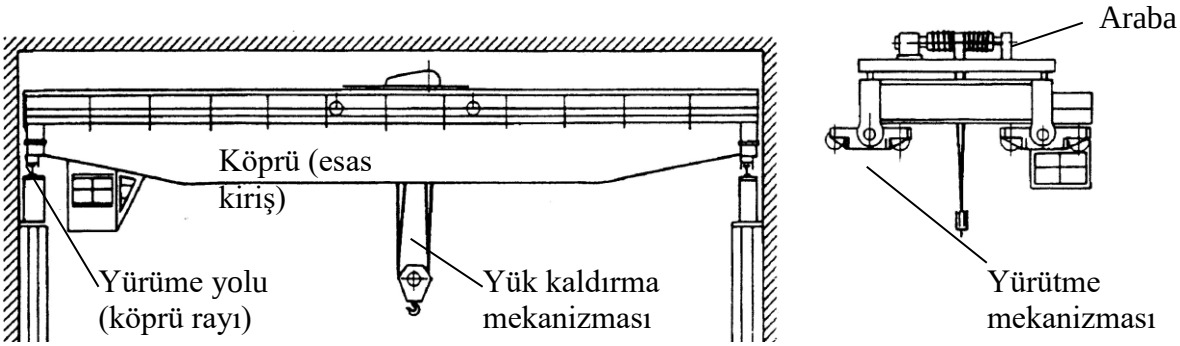


Şekil 1 Kaldırma yükü katsayısı

Çift Kirişli Gezer Köprülü Krenler ve Hesapları

Çift kirişli köprülü krenler, yükleri yalnız kaldırmakla kalmayıp onları yatay olarak da hareket ettiren iş veya tesir alanları geniş kaldırma makinalarıdır. Bu krenler, fabrikalarda, ambarlarda (kapalı veya açık), enerji santrallerinde (montaj ve revizyon işlerinde) vb. kullanılır.

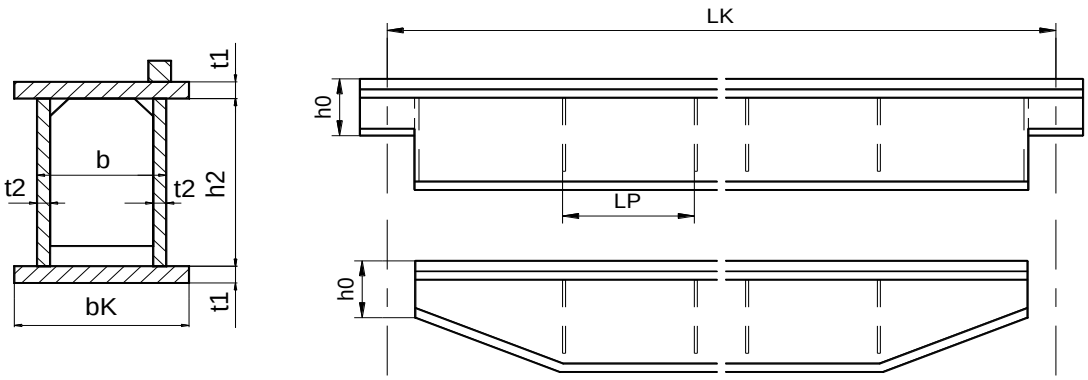
Çift kirişli köprülü krenler, yüksekte bulunan raylar üzerinde hareket eden arabalı köprülerden ibarettir. Araba yükleri kaldırır veya indirir ve köprü boyunca taşır. Köprü, yükleri kren yolu boyunca götürür. Bu suretle, yükün birbirine dik üç doğrultuda hareket etme imkanı doğar.



Şekil 2 Çift kirişli gezer köprülü kren gösterimi

Çift kirişli köprülü krenin kiriş konstrüksiyon esasları

Yapılan tez çalışmasında çift kirişli köprülü kren kiriş konstrüksiyonu olarak kutu kiriş konstrüksiyonu verilmiştir. Şekil 3'te standart bir kutu kiriş konstrüksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3 Kutu kiriş konstrüksiyonu

Şekil 3'te görünen kutu kiriş konstrüksiyonunda yer alan tekil ölçüler şunlardır:

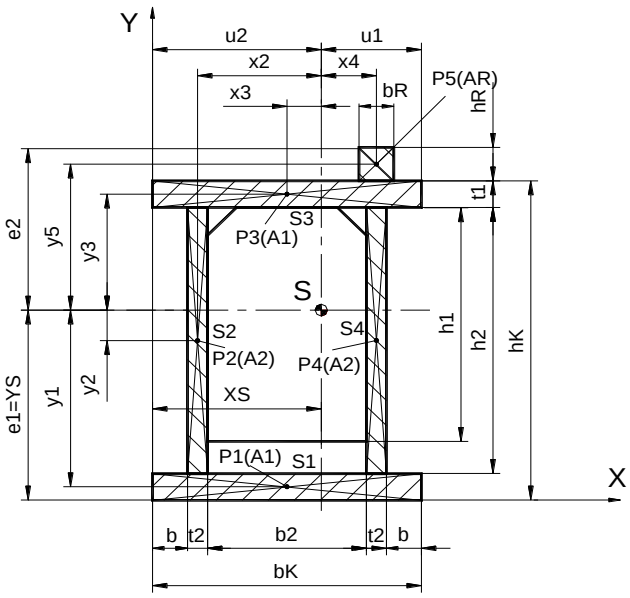
Kutu kiriş yan plaka yüksekliği h_2 için: $h \approx \frac{L_K}{15} \ldots \frac{L_K}{12}$

Kutu kiriş yan plaka kalınlığı t_2 için: $t_2 \leq \frac{h_2}{100} \approx 6 \ldots 12\,mm$

Kutu kiriş genişliği, yani yan plakalar arası b_K mesafesi için:	$b_K \approx (0{,}85 \ldots 1)\, h_2 \qquad b_K \approx \frac{L_K}{18} \ldots \frac{L_K}{12}$
Üst ve alt başlık levhaları kalınlığı t_1 için:	$t_1 \approx (1 \ldots 2)\, t_2$
Kutu kiriş tekerlek başlığı bağlantı yüksekliği h_0 . .	$h_0 \geq 0{,}4\, h_2$
Kutu kirişte perde arası mesafesi L_{Pe} için:	$L_{Pe} \approx (2 \ldots 5)\, h_2$

Kutu kirişlerde eğilme atalet ve mukavemet momenti

Şekil 5'te kutu kirişlerde eğilme atalet ve mukavemet momenti kesiti gösterilmektedir.



Şekil 5. Kutu kirişlerde eğilme atalet ve mukavemet momenti kesiti

Kutu kirişlerde eğilme atalet momenti hesaplanırken ilk olarak tarafsız eksen veya kesit ağırlık merkezi bulunur.

$$S_X = \frac{b_K A_1 + \left[b_1 - \left(b + \frac{t_2}{2} \right) \right] \left(A_2 + A_R \right) + \left(b + \frac{t_2}{2} \right) A_2}{A_{top}}$$

$$\boxed{S_X = \frac{b_1 \cdot \left(A_1 + A_2 + A_R \right) - \left(b + \frac{t_2}{2} \right) \cdot A_R}{A_{top}}} \qquad (1)$$

$$S_Y = \frac{h_k A_2 + \frac{t_1}{2} A_1 + \left(h_k - \frac{t_1}{2} \right) A_1 + \left(h_k + \frac{h_R}{2} \right) A_R}{A_{top}}$$

$$\boxed{S_Y = \frac{h_k \cdot (A_1 + A_2 + A_R) + \frac{h_R}{2} \cdot A_R}{A_{top}}} \qquad (2)$$

$A_{top} = 2A_1 + 2A_2 + A_R$ (3)

Sistemin tarafsız ekseni bulunduktan sonra Steiner'e göre kiriş atalet momenti hesaplanır.

X eksenine göre atalet momenti " I_x "

$$I_x = I_{x1} + y_1^2 A_1 + I_{x2} + y_2^2 A_2 + I_{x3} + y_3^2 A_3 + I_{x4} + y_4^2 A_4 + I_{x5} + y_5^2 A_5 \qquad (4.a)$$

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

$$I_x = 2(I_{x1} + I_{x2}) + I_{x5} + (y_1^2 + y_3^2) A_1 + 2 y_2^2 A_2 + y_5^2 A_R \qquad (4.c)$$

Sonuç olarak I_x atalet momenti

$$\boxed{I_x = 2 \cdot \left(\frac{t_2 \cdot h_2^3}{12} + \frac{b_1 \cdot t_1^3}{12} \right) + \frac{b_R \cdot h_R^3}{12} + (y_1^2 + y_3^2) A_1 + 2 \cdot y_2^2 \cdot A_2 + y_5^2 \cdot A_R} \qquad (5)$$

dır.

Y-Eksenine göre atalet momenti " I_y "

$$I_y = I_{y1} + x_1^2 A_1 + I_{y2} + x_2^2 A_2 + I_{y3} + x_3^2 A_3 + I_{y4} + x_4^2 A_4 + I_{y5} + x_5^2 A_5 \qquad (6.a)$$

$I_{y1} = I_{y3}$; $I_{y2} = I_{y4}$; $A_1 = A_3$; $A_2 = A_4$; $x_1 = x_3$ (6.b)

$$I_y = 2(I_{y1} + I_{y2}) + I_{y5} + (x_2^2 + x_4^2) A_2 + 2 x_3^2 A_1 + x_4^2 A_R \qquad (6.c)$$

Sonuç olarak I_y atalet momenti

$$\boxed{I_y = 2 \cdot \left(\frac{h_2 \cdot t_2^3}{12} + \frac{t_1 \cdot b_k^3}{12} \right) + \frac{h_R \cdot b_R^3}{12} + (x_2^2 + x_4^2) A_2 + 2 \cdot x_3^2 \cdot A_1 + x_4^2 \cdot A_R} \qquad (7)$$

dır.

X-Eksenine göre mukavemet momenti " W_x "

Hesaplarda maksimum gerilme kullanıldığından minimum mukavemet momentini hesaplamak gereklidir. Minimum mukavemet monmentide e_{max} ve u_{max} ile

$$\boxed{W_x = \frac{I_x}{e_{max}} \quad \text{ve} \quad W_y = \frac{I_y}{u_{max}}} \qquad (8)$$

şeklinde hesaplanır.

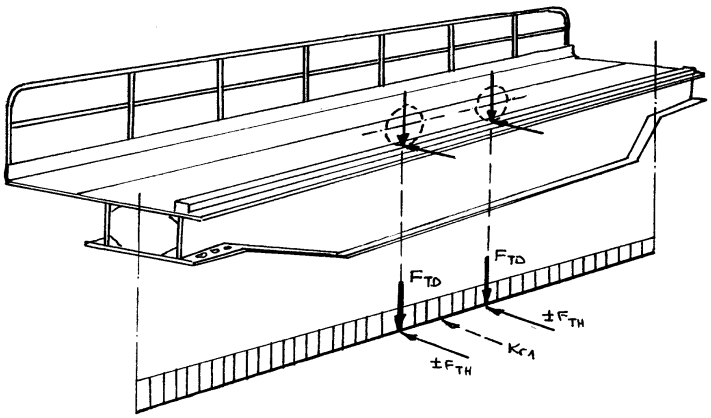
Kren Kirişinde Normal Gerilmeler ve Hesapları

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.

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

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

Köprülü kren kirişi ve ray üzerinde bir çift tekerlek ve sembolize edilen araba (vinç) Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Köprülü kren kirişi ve kirişe etkiyen kuvvetler

Burada,

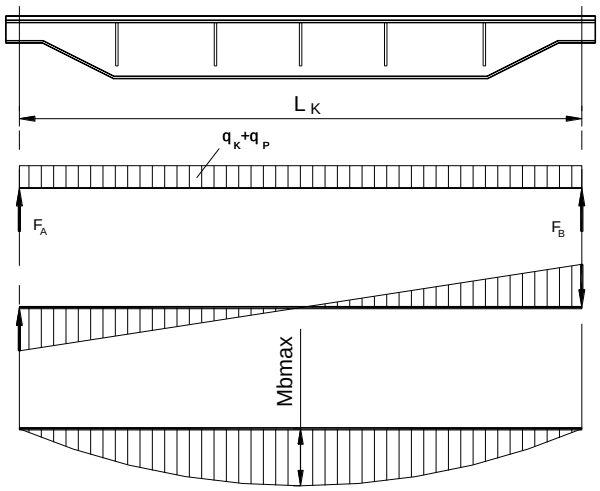
F_{TD} = Araba tekerleklerine etkiyen kuvvet,

F_{TH} = Araba kasılmasından ileri gelen ve araba tekerleğine etkiyen yatay kuvvet,

K_{r1} = Vinç tekerleğindeki ivme ve frenlemeden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{r1} (sürtünme kuvveti).

Kren özağırlığından oluşan gerilme " σ_1 "

Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme, kren kirişinin yayılı yükün doğurduğu momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir. Mukavemet momentinin hesabında platformun geometrik ölçüleri dikkate alınmadıysa da, mukavemet hesaplarında platform dikkate alınır. Böylece daha emniyetli hesap yapılmış olur. Şekil 7'de kirişin öz ağırlık momentinin dağılımı görülmektedir.



Şekil 7 Kirişin özağırlık momentinin dağılımı

Kirişteki yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti " M_1 ";

$$M_1 = \frac{F_{AK} \cdot L_K}{8} \qquad (10)$$

Kirişteki yayılı yük kuvveti, yani kiriş ağırlık kuvveti ise

$$F_{AK} = (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K \qquad (11)$$

ile hesaplanır.

Böylece kirişteki yayılı kuvvetten ileri gelen eğilme momenti " M_1 ";

$$M_1 = \frac{(q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K^2}{8} \qquad (12)$$

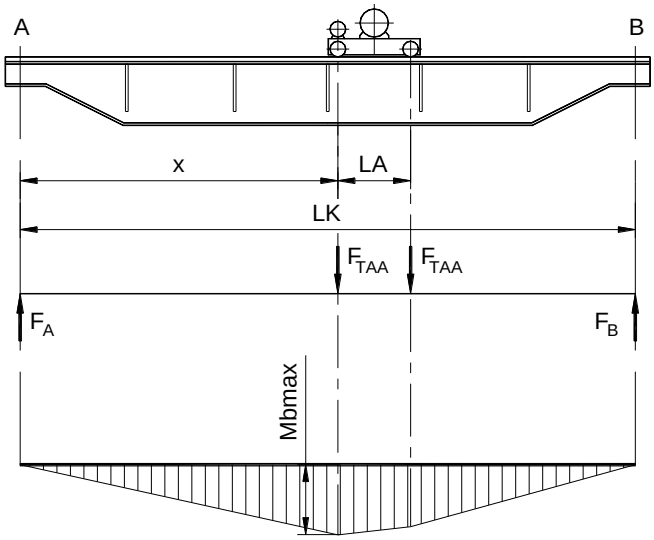
olarak yazılır.

Kren kirişinin öz ağırlığından oluşan gerilme " σ_1 " aşağıdaki ifade ile elde edilir.

$$\boxed{\sigma_1 = \frac{(q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K^2}{8 \cdot W_{xK}}} \qquad (13)$$

Arabanın özağırlığından oluşan gerilme “ σ_2 ”

Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme, arabanın öz ağırlığının doğurduğu momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir. Arabanın öz ağırlığından kaynaklanan momentin kiriş boyunca dağılımı Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8 Arabanın öz ağırlık momentinin kirişteki dağılımı

Arabanın öz ağırlığının doğurduğu tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen maksimum momenti "M_2" nin hesabı için arabanın yerinin bulunması gereklidir. Bunun içinde B desteğindeki moment hesaplanır ve buradan F_A kuvveti

$$F_A \cdot L_K = F_{TAA} \cdot (L_K - x) + F_{TAA} \cdot (L_K - x - L_A) \qquad (14.a)$$

$$F_A = \frac{F_{TAA}}{L_K} \cdot (2 \cdot L_K - 2x - L_A) \qquad (14.b)$$

olarak bulunur.

Buradan (14.a) eşitliğinden elde edilen F_A kuvveti x mesafesi ile çarpılarak

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

momenti elde edilir.

Maksimum değeri bulmak için denklemin türevini alınarak sıfıra eşitlenir.

$$\frac{dM_{Fx}}{dx} = 0 = \frac{F_{TAA}}{L_K} (2 \cdot L_K - 4 \cdot x - L_A) \qquad (16)$$

(16) ifadesinde sağ taraftaki parantez içi sıfır olacaktır.

$$2 \cdot L_K - 4 \cdot x - L_A = 0$$

Böylece x mesafesi

$$x = \frac{L_K}{2} - \frac{L_A}{4} \qquad (17)$$

olarak bulunur.

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

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

şeklinde elde edilir.

Arabanın öz ağırlığının doğurduğu tekerlek kuvvetleri ($F_{TAA} = \frac{F_{AA}}{4}$) alınarak, kirişteki arabanın öz ağırlığının doğurduğu kuvvetten ileri gelen eğilme momentini veren (18) ifadesinde yerine yazılırsa,

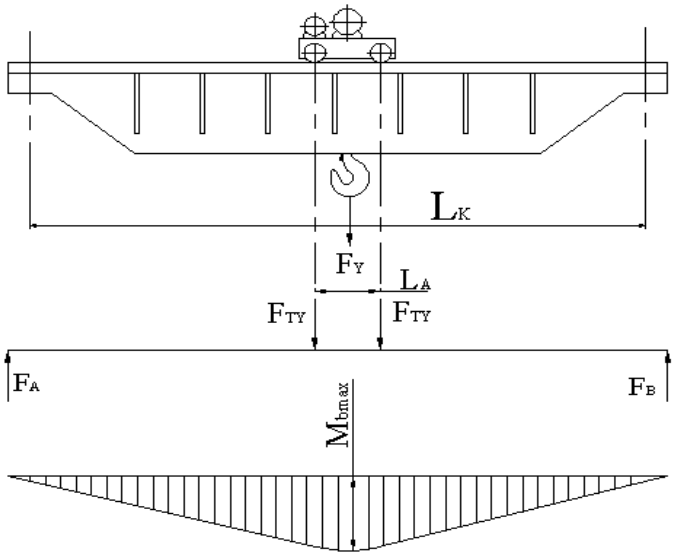
$$M_2 = \frac{F_{AA}}{32 \cdot L_K} \cdot \left(2 \cdot L_K - L_A \right)^2 \qquad (19)$$

elde edilir. Arabanın öz ağırlığından oluşan gerilme " σ_2 " (19) ifadesi ve arabanın mukavemet momenti W_{XK} ile

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

Kaldırma yükünden oluşan gerilme " σ_3 "

Kaldırma yükünün ağırlık kuvvetinden ileri gelen gerilme, kaldırma yükünün doğurduğu Şekil 9'da görülen momentin oluşturduğu eğilme gerilmesidir.



Şekil 9 Kaldırma yükünün öz ağırlık momentinin kirişteki dağılımı

Kaldırılan yükün doğurduğu tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen moment " M_3 " (18) eşitliğinden ve Şekil 9'dan yararlanılarak

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

şeklinde yazılır.

Araba 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 gösterilmiştir.

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

Kaldırılan yükten oluşan gerilme " σ_3 ", (22) ifadesi ve arabanın mukavement momenti W_{XK} dikkate alındığında

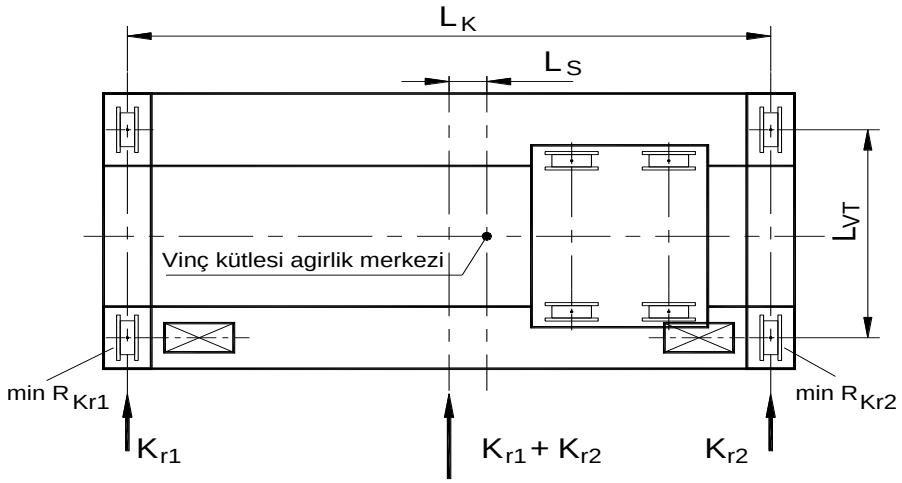
$$\boxed{\sigma_3 = \frac{F_Y}{32 \cdot L_K \cdot W_{xK}} \cdot \left(2 \cdot L_K - L_A \right)^2} \qquad (23)$$

ifadesi ile hesaplanır.

Atalet kuvvetlerinden oluşan gerilme " σ_4 "

Vinç kirişi ve arabanın kütlesinin doğurduğu atalet kuvvetinden oluşan gerilmeyi DIN 15018 e göre hesaplanan yatay kuvvetler ile hesaplanır. Şekil 10'da kiriş üzerinde etkili olan atalet kuvvetleri görülmektedir. DIN 15018'e göre ivme veya frenlemeden doğan kütle kuvvetlerinin sonucu yatay tekerlek kuvveti şu şekilde hesaplanır (vinç tekerlekleri ayrı ayrı tahrik edildiği kabul edilmiştir.).

$$\sigma_4 = \frac{M_4}{W_{yK}} \qquad (24)$$



Şekil 10 Kiriş üzerindeki atalet kuvvetleri

Atalet kuvvetlerinden ileri gelen moment " M_4 " Şekil 10 yardımıyla

$$M_4 = \frac{L_K}{2} \cdot K_{r1} \qquad (25)$$

olarak yazılır.

Vinç tekerleğindeki ivme ve frenlemeden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{r1} (sürtünme kuvveti) ise

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

dır.

Burada kullanılan 1,5 katsayısı bilinmeyen etkenleri göz önüne almak ve hesabı gereksiz yere detaylı yapmamak için seçilmiştir.

Sürtünme katsayısı μ ray ve vinç tekerlekleri arasındaki kuvvet bağıntısını kurar. Ray ve tekerlek çiftinin malzemeleri çelik olduğundan burada μ = 0,2 alınır. Bunun yanında kritik durum arabanın kirişin tam ortasında olmasıdır. Böylece kiriş ve arabanın öz ağırlığının kren tekerleklerindeki minimum dik kuvveti $\min R_{Kr1} = \min R_{Kr2}$ ve $K_{r1} = K_{r2}$ kabul edilirse, kren tekerleğindeki ivme ve frenlemeden ileri gelen hareket yönündeki yatay kuvvet K_{r1}'i veren (26) ifadesinin düzenlenmiş hali

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

dir.

Kiriş ve arabanın öz ağırlığının vinç tekerleklerindeki minimum dik kuvveti $\min R_{Kr1}$

$$\min R_{Kr1} = \frac{\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K}{2} + \frac{F_{AA}}{4} \qquad (28.a)$$

$$\min R_{Kr1} = \frac{1}{2} \cdot \left[\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right] \qquad (28.b)$$

olarak elde edilir.

Burada,

F_{AA}= Arabanın öz ağırlığının her bir tekerlekteki kuvveti,

φ = 1.1 Öz ağırlık katsayısı,

L_K = Köprü açıklığı,

$q_K + q_P$ = Kiriş ve platformun birim boy ağırlığı,

g = 9.81 N / mm^2 yerçekimi ivmesi.

Bulunan değer (27) ifadesinde yerine yazıldığında,

$$K_{r1} = 0{,}3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right] \qquad (29.a)$$

$$K_{r1} = 0{,}15 \cdot \left[\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right] \qquad (29.b)$$

elde edilir.

Böylece atalet kuvvetlerinden oluşan eğilme momenti " M_4 ",

$$M_4 = \frac{L_K}{2} \cdot 0{,}15 \cdot \left[\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right] \qquad (30.a)$$

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

olacaktır.

Atalet kuvvetlerinden oluşan gerilme " σ_4 " ise (30.b) ifadesi ve W_{YK} mukavemet momentine göre

$$\boxed{\sigma_4 = \frac{0{,}075 \cdot L_K}{W_{yK}} \cdot \left[\varphi \cdot (q_K + q_P) \cdot g \cdot L_K + \frac{F_{AA}}{2} \right]} \qquad (31)$$

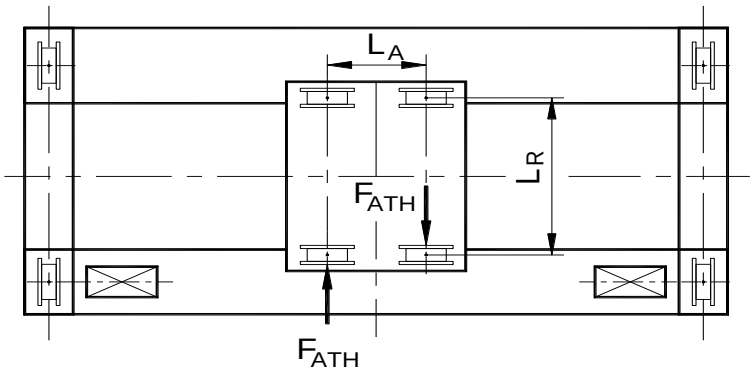
olacaktır.

Araba kasılması sonucu oluşan gerilme " σ_5 "

Şekil 11'de görülen kren kirişinde araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetin " F_{ATH} " doğurduğu eğilme momentinden ileri gelen gerilme, FEM'e göre

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

olacaktır.



Şekil 11 Araba kasılması sonucu oluşan kuvvetler

Araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetden ileri gelen moment ise Şekil 11'den

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

olarak yazılır.

Araba kasılmasından ileri gelen araba tekerleğindeki yatay kuvvet F_{ATH} (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 maksimum değeri olan 0,2 kabul edilir.

Tekerlekteki dik kuvvet F_{TD} ise,

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

olarak bulunur.

Burada,

F_{AR} = Arabanın ağırlık kuvveti

F_Y = Kaldırma yükü

dür.

Böylece bulunan değerler (34) ifadesinde yerleştirildiğinde, yatay kuvvet

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

dır.

Araba kasılmasından ileri gelen yatay kuvvetlerin doğurduğu eğilme momenti ise,

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

olarak elde edilir.

Araba kasılmasından ileri gelen gerilme " σ_5 ", (37) ifadesi ve W_{YK} mukavemet momenti dikkate alınırsa,

$$\boxed{\sigma_5 = \frac{0{,}05 \cdot L_A}{W_{yK}} \cdot \left(F_{AA} + F_Y \right)} \qquad (38)$$

olarak yazılır.

Kren Kirişindeki Kayma Gerilmesi " τ_{top} "

Kren kirişindeki toplam kayma gerilmesi (τ_{top}), iki ayrı tipteki kayma gerilmesi (torsiyon ve kesme) süperpozisyonundan oluşur. Her iki gerilme halinde de hiperstatik bir durum vardır. Gerek burulma momentinden gerek kesme kuvvetinden ileri gelen kayma gerilmelerinin tam olarak belirlenmesi için kayma akımlarının hiperstatik momentlerinin ve kayma merkez noktasının bulunması gerekir. Ancak bu tip hesapla bulunan gerilmede bizim kullanacağımız daha basit yaklaşık bir hesaplama yöntemi ile bulunan gerilmeler arasında çok az fark vardır, ve bu farklar hesabın emniyeti bakımından önemlidir.

$$\tau_{top} = \tau_t + \tau_k \qquad (39)$$

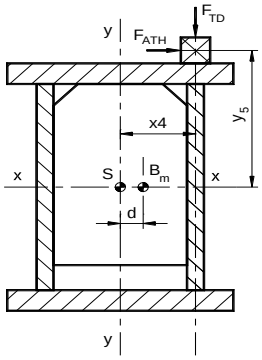
Burada,

τ_t = Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen burulma gerilmesi,

τ_k= Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi.

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsiyon gerilmesi “ τ_t ”

Kirişte asimetrik olarak araba tekerleklerindeki dik ve yatay kuvvetlerden ileri gelen burulma momentinin doğurduğu torsiyon (burulma) gerilmesidir.



Şekil 12 Kiriş kesiti

Torsiyon gerilmesi τ_t ;

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \qquad (40)$$

dır.

Torsiyon momenti M_t, Şekil 12’de görülen B_m noktasını burulma merkezi olarak kabul edersek, araba tekerleklerindeki dik ve yatay kuvvetlerden ileri gelen burulma momenti,

$$M_t = (x_4 - d)\,2F_{TD} + y_5\,2F_{ATH} \qquad (41)$$

olarak yazılır.

Burada daha önce vinçte kabul edilen değerlere göre d = 0 alındığında ve $F_{ATH} = 0{,}2F_{TD}$ olduğuna göre (41) ifadesi,

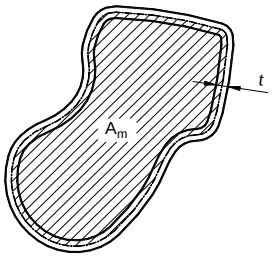
$$M_t = x_4 \cdot 2 \cdot F_{TD} + y_5 \cdot 2 \cdot 0{,}2F_{TD} = 2F_{TD} \cdot (x_4 + 0{,}2y_5) \qquad (42.a)$$

$$M_t = 2 \cdot \frac{F_{AA} + F_Y}{4}(x_4 + 0{,}2 \cdot y_5) \qquad (42.b)$$

$$M_t = (x_4 + 0{,}2y_5) \cdot \frac{F_{AA} + F_Y}{2} \qquad (42.c)$$

elde edilir.

Torsiyon mukavemet momenti W_t, Bredt’in Şekil 13’de görülen ortalama alan tanımına göre yapılacaktır.

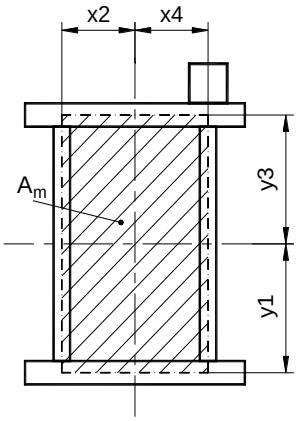


Şekil 13 Bredt'in ortalama alan tanımı

Buna göre W_t değeri,

$$W_t \approx 2\, A_m\, t \qquad (43)$$

dir.



Şekil 14 Bredt'e göre kiriş ortalama alanı

Burada Şekil 14'de görülen kiriş ortalama alanı,

$$A_m = (x_2 + x_4)\cdot(y_1 + y_3) \qquad (44)$$

olarak yazılır.

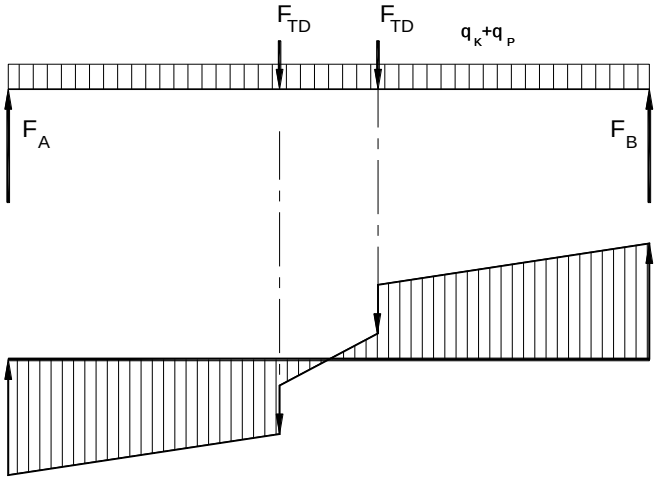
Böylece tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen Torsiyon gerilmesi " τ_t ", (42.c) ve (47) ifadeleri kullanılarak,

$$\boxed{\tau_t = \frac{(x_4 + 0{,}2\cdot y_5)(F_{AA} + F_Y)}{4\cdot t_2\cdot(x_2 + x_4)(y_1 + y_3)}} \qquad (45)$$

şeklinde yazılır.

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi " τ_k "

Kesme gerilmesi veya kesme yükü, arabanın kendi ağırlık kaldırma yükünün ağırlık ve kirişin kendi ağırlık kuvvetlerinden ileri gelen gerilmedir. Kesme kuvvetlerinin köprü kirişi üzerindeki dağılımı Şekil 15'de görülmektedir.

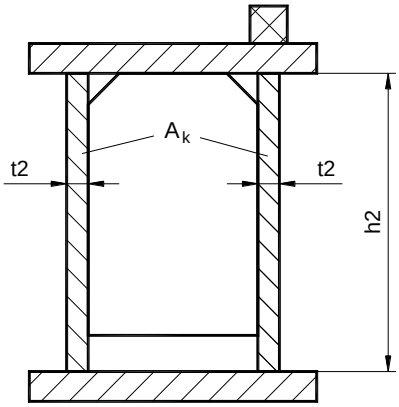


Şekil 15 Kesme kuvvetlerinin kiriş üzerindeki dağılımı

Kesme gerilmesi, kesme kuvvetinin kirişin kesmeye karşı koyan alanına (Şekil 16) bölünürse;

$$\tau_k = \frac{F_k}{A_k} \qquad (46)$$

olarak hesaplanır.



Şekil 16 Kesme kesiti A_k

Bir kirişteki maksimum kesme yükü F_{kmax},

$$F_{kmax} = \frac{\psi \cdot F_Y}{2} + \frac{\gamma \cdot F_{AA}}{2} \qquad (47)$$

olarak yazılır.

Burada,

F_Y= Kaldırma yükü,

F_{AA}= Araba öz ağırlığının tekerlekteki değeri,

γ_c = yükseltme katsayısı.

Bir kirişteki kesilme etkisinde olan alan A_k,

$$A_k = 2 \cdot t_2 \cdot h_2 \qquad (48)$$

dir.

Böylece kren kirişinde tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi " τ_k ", (47) ve (48) ifadelerinden;

$$\boxed{\tau_k = \frac{\psi \cdot F_Y + \gamma \cdot F_{AA}}{4 \cdot t_2 \cdot h_2}} \qquad (49)$$

olarak elde edilir.

Statik Kontrol İçin Emniyetli Mukavemet Değeri " σ_{EM} "

Statik kontrol için emniyet mukavemet değeri σ_{EM} Tablo 4.6'da görülmektedir.

Tablo 2 Köprü malzemesi için emniyetli mukavemet değerleri

Malzeme cinsi		Yükleme hali	Emniyetli karşılaştırma mukavemet değeri	emniyetli çekme mukavemet değeri	emniyetli basma mukavemet değeri	emniyetli kayma mukavemet değeri
Kısaltılmış ismi	Normu		σ_{EM}		σ_{EM}	□$_{em}$
			N/mm^2		N/mm^2	N/mm^2
St 37	DIN 17 100	H	160		140	92
		HZ	180		160	104
St 52-3	DIN 17 100	H	240		210	138
		HZ	270		240	156

Kutu kiriş St 37 malzemesinden imal edilmektedir. St 37 için emniyet mukavemet değeri σ_{EM}= 160 N / mm^2 dir. Bu değer çekme gerilmesi içindir. Bir kutu kirişte

görülmüştür ki çekme kuvvetlerinden kaynaklanan hasar ve deformasyonlar basma kuvvetlerinin meydana getirdiği hasardan daha fazla olmaktadır. Bu yüzden genellikle hesaplamalarda statik kontrol için esas alınan gerilme emniyetli çekme gerilmesidir. Ancak yapılan hesaplarda kontrol açısından basma gerilmesinin de dikkate alınması hesabın doğruluğu açısından önemlidir. Tablo 2'den emniyetli basma mukavemet değeri σ_{EM}= 140 N / mm^2 dir.

Dinamik Kontrol İçin Emniyetli Mukavemet Değeri

Malzemenin sürekli dinamik emniyetli mukavemet değeri daha çok sınır değerler oranı κ ile çentik etkisine bağlıdır. Sınır değerler oranı κ (kapa) şu şekilde bulunur;

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

Gerilmeler kuvvet ile doğru orantılı olduğundan, gerilmeler oranı yerine kuvvet oranı yazmakta bir sakınca yoktur. Sınır değerler oranı κ'nın hesaplanmasında kuvvetin değeri ve yönü göz önüne alınmalıdır.

Statik yükleme halinde;

$F_{min} = F_{max}$ --> ve $\kappa = +1$

$\sigma_{min} = \sigma_{max}$

Dalgalı (dinamik) yükleme halinde ise;

$F_{min} \geq 0$ ve $F_{max} > +1$ vede $0 \leq \kappa < +1$

$\sigma_{min} \geq 0$ ve $\sigma_{max} > +1$

olacaktır.

özel halde ise;

$\sigma_{min} = 0$

dir.

Değişken yükleme halinde;

$F_{min} < 0$ ve $F_{max} > 0$ vede $-1 \leq \kappa < 0$

$\sigma_{min} < 0$ ve $\sigma_{max} > 0$

dir.

özel halde ise;

$|\sigma_{min}| = |\sigma_{max}|$

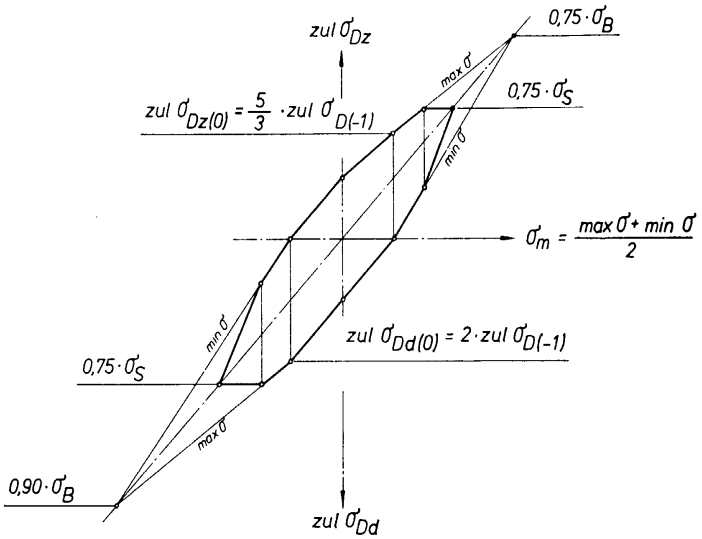
dir.

Bu yükleme durumlarının en kiritiği olan tam değişken yükleme, (κ = -1) hesaplarda karşılaştırma mukavemet değeri bu yükleme durumunun etkisindeki çekme etkisi için seçilir. Çünkü pratikte görülmüştür ki basma gerilmesi büyük olmasına rağmen çatlamalar ve sonucu olan kopmalar malzemenin çekme etkisi tarafından olmaktadır. Tablo 3a)'da malzemenin emniyetli mukavemet değerleri " $\sigma_{D(-1)EM}$ " vinç konstrüksiyonundaki çentik guruplarına göre verilmiştir.

Tablo 3a) κ = -1 için malzemenin emniyetli mukavemet değerleri

Malzemenin cinsi	St 37			St 52-3		
mukavemet değerleri	R_m = 340 N/mm^2 R_e = 240 N/mm^2			R_m = 490 N/mm^2 R_e = 350 N/mm^2		
çentik gurubu	K2	K3	K4	K2	K3	K4
Yükleme gurubu	□ = -1 için malzemenin emniyetli mukavemet değeri $\sigma_{D(-1)EM}$ N/mm^2					
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

$\sigma_{D(-1)EM}$ değeri ile $\sigma_{D(\kappa)EM}$ değeri arasındaki bağıntı Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17 $\sigma_{D(-1)EM}$ değeri ile $\sigma_{D(\kappa)EM}$ değeri arasındaki bağıntı

Şekil 17'ye bağlı olarak Tablo 3b)'de κ ile bağıntılı malzemenin üst mukavemet değeri görülmektedir.

Tablo 3b) κ ile bağıntılı malzemenin üst mukavemet değeri

Değişken bölge	çekme	$\sigma_{Dz(\kappa)EM} = \frac{5}{3 - 2\kappa} \cdot \sigma_{D(-1)EM}$
$-1 < \kappa < 0$	basma	$\sigma_{Dd(\kappa)EM} = \frac{2}{1 - \kappa} \cdot \sigma_{D(-1)EM}$
Dalgalı bölge	çekme	$\sigma_{Dz(\kappa)EM} = \frac{\sigma_{Dz(0)EM}}{1 - \left(1 - \frac{\sigma_{Dz(0)EM}}{0{,}75\ \sigma_B}\right)\kappa}$
$0 < \kappa < +1$	basma	$\sigma_{Dd(\kappa)EM} = \frac{\sigma_{Dd(0)EM}}{1 - \left(1 - \frac{\sigma_{Dd(0)EM}}{0{,}90\ \sigma_B}\right)\kappa}$

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

Sürekli dinamik emniyetli çekme gerilmesi;

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

Sürekli dinamik emniyetli basma gerilmesi ise;

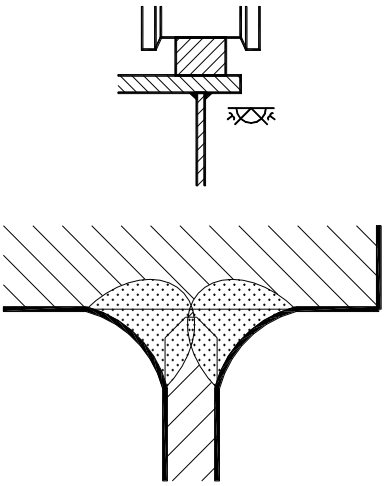
$$\sigma_{Dd(\kappa)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{D(-1)EM}}{0{,}90 \cdot R_m}\right) \cdot \kappa} \qquad (51)$$

olarak yazılır.

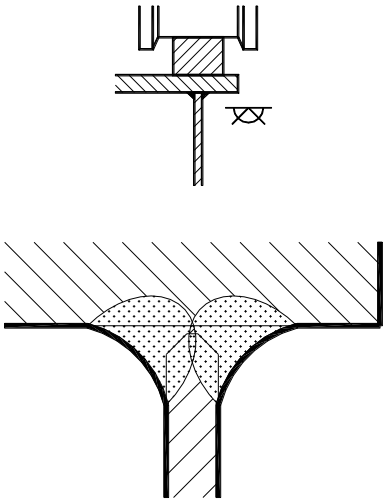
Kren Kirişindeki Çentik Grubu

K2 Grubu Şekil 18.1'de görüldüğü gibi kaynak dikişi malzemeye özel kaynak ağızı açılarak özel kalitede K dikişi olarak yapılmıştır.

K3 Grubu Şekil 18.2'de görüldüğü gibi kaynak dikişi malzemeye kaynak ağzı açılarak normal kalitede K dikişi olarak yapılmıştır.

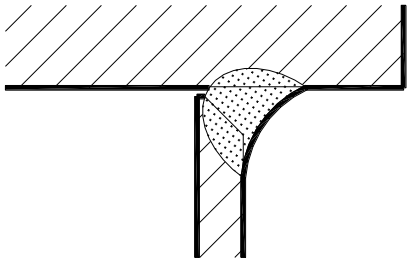


Şekil 18.1, K2-Gurubu

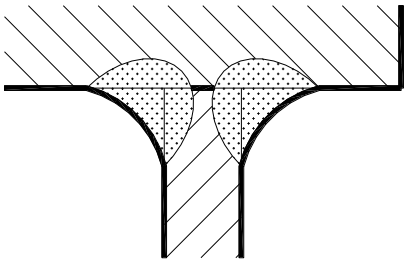


Şekil 18.2, K3-Gurubu

K4 Grubu kaynak dikişi Şekil 18.3 ve Şekil 18.4'te görüldüğü gibi malzemeye kaynak ağzı açılarak normal kalitede yarım ve dikişi ve çift taraflı köşe dikiştir.



Şekil 18.3, K4-Gurubu, yarım V-dikişi



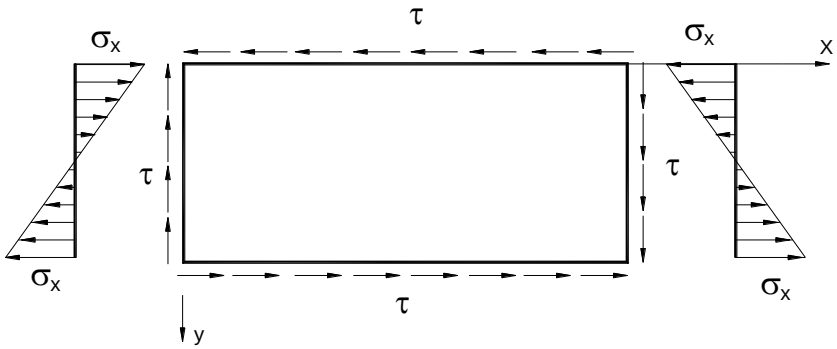
Şekil 18.4, K4-Gurubu, çift köşe dikişi

Burada verilen kiriş raylarının altındaki yan levha kaynak bağlantısına göre çentik gurubu seçilir. Çentik grubunun seçimine göre kirişin ağırlığı yani boyutlarının değişmesi gerekli olduğundan, K3 Gurubunu seçmek ve kiriş imalatını bu şartlara göre yapmak uygundur.

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

Yan Levhaların Buruşmaya Karşı Kontrolü

Kiriş yan levhalarında meydana gelen gerilmeler Şekil 19'da görülmektedir.



Şekil 19. Kiriş yan levhasındaki gerilmeler

Yan levhadaki ideal flambaj gerilmesi (DIN 4114T1) ;

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

dir.

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

$$\boxed{\sigma_{VPi} = \frac{\sigma_V}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{Pi}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max}}{\tau_{Pi}}\right)^2}}} \qquad (53)$$

olarak bulunur.

Levhadaki ideal flambaj (buruşma) normal gerilmesi, levhadaki Euler gerilmesinin buruşma katsayısı k_σ ile çarpılmasıyla bulunur.

$$\sigma_{Pi} = k_\sigma\,\sigma_e \qquad (54)$$

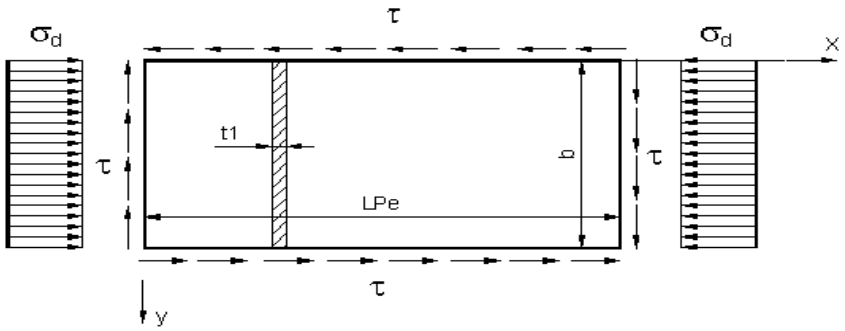
Levhadaki flambaj için geçerli gerilme Euler gerilmesidir. Euler gerilmesi formülü, malzemenin mekanik değerleri ve konstruksiyonu yapılan parçanın boyutları ile kurulacak olursa,

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot \left(1 - \upsilon^2\right)} \cdot \left(\frac{t_2}{h_2}\right)^2 \qquad (55)$$

olarak ifade edilir.

Üst Kuşak Levhalarının Buruşmaya Karşı Kontrolü

Üst kuşak levhasına etkiyen gerilmeler Şekil 20'de görülmektedir. Burada τ kayma gerilmesidir. σ ise normal gerilmedir. t_1 üst kuşak levhasının kalınlığını, L_{Pe} perdeler arası mesafeyi, b ise üst kuşak levhasının genişliğini göstermektedir.



Şekil 20. Kiriş Üst Levhasına Etkiyen Gerilmeler ve Ölçüler

Üst kuşak levhasındaki ideal flambaj gerilmesi;

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

Burada κ = + 1 için ideal flambaj karşılaştırma gerilmesi;

$$\boxed{\sigma_{VPi} = \frac{\sigma_V}{\frac{\sigma_{max}}{2\,\sigma_{Pi}} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2\,\sigma_{Pi}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max}}{\tau_{Pi}}\right)^2}}} \qquad (57)$$

(56) ve (57) ifadeleri DIN 4114 normu tarafından kabul edilen değerlerdir [13]. Ayrıca bulunan buruşma (flambaj) gerilmelerinin kontrolü için standart gerilme değerleri Tablo 4'de görülmektedir.

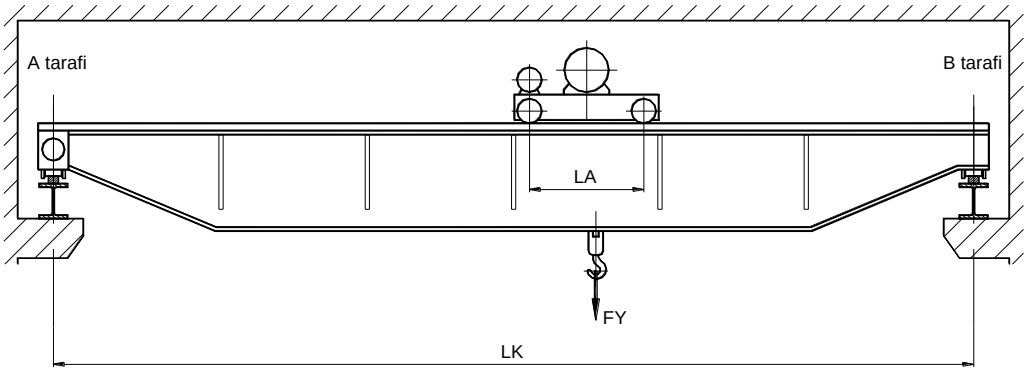
Tablo 4. İdeal flambaj gerilmeleri için hakiki flambaj gerilmeleri

σ_{VPi} N/mm^2	σ_{VP} N/mm^2		σ_{VPi} N/mm^2	σ_{VP} N/mm^2	
	St 37	St 52-3		St 37	St 52-3
< 157	σ_{VPi}	σ_{VPi}	360	228	320
192	192	σ_{VPi}	380	229	325
200	198	σ_{VPi}	400	230	328
210	204	σ_{VPi}	420	231	331
220	208	σ_{VPi}	440	232	334
230	211	σ_{VPi}	460	232	336
240	214	σ_{VPi}	480	233	338
250	216	σ_{VPi}	500	233	339
260	218	σ_{VPi}	550	234	343
270	219	σ_{VPi}	600	235	345
280	221	σ_{VPi}	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

Çift Kirişli Köprülü Kren Hesap Örneği

Şekil 21'de görülen çift kirişli köprülü kren hesabı yapılırken aşağıdaki teknik veriler esas alınmıştır.



Şekil 21. Çift kirişli köprülü kren

Kullanılan yer : Ağır sanayi işi yapan atölye

Kren tipi : Çift kirişli gezer köprülü kren

Kaldırma yükü : $G_y = 35000$ kg $F_y = G_y.g$ $F_y = 343350$ N

Kaldırma hızı : $v_H = 2.7$ m / dk

Köprü açıklığı : $L_K = 13$ m

Arabanın hızı : $v_A = 20$ m / dk

Araba özağırlığı : $F_{AA} = 3000$ kg $F_A = F_{AA}.g$ $F_A = 29430$ N

Kren hızı : $v_F = 15$ m / dk

Araba tekerlek aks açıklığı: $L_A = 2$ m

Araba tekerlek sayısı : $n_{Rad} = 4$

Elastiste modulü : $E = 210000$ N / mm^2

Poisson oranı : $\nu_{St} = 0.3$

Kren grubunun seçilmesi

Kren grubunun belirlenmesinde ilk olarak projesi yapılacak olan krenin yük kaldırma sayısının tayin edilmesi gereklidir. U4 numaralı maksimum kaldırma sayısı seçilmiştir. U4 için maksimum kullanım sayısı $125000 < n_{max} \leq 250000$ değeri ile sınırlandırılmıştır.

Daha sonra yapılacak olan işlem krenin kullanım süresince yük dağılımının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için k_p yük dağılım faktörü değerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu değer $0.25 < k_p \leq 0.5$ olarak seçilmiş ve Q3 değeri uygun görülmüştür.

Üçüncü ve son adım olarak U4 ve Q3 değerleri kullanılarak A5 tipi köprülü kren seçilmiştir.

Atelye tipi krenler için vinç grubunun A3 – A5 seçilmesi uygun görülmüştür.

Yükleme tipinin belirlenmesi

Yükleme tipi olarak yüklemenin H hali (ana yük) seçilmiştir. Projesi yapılan çift kirişli gezer köprülü kren atelye içinde çalışacaktır. Herhangi bir rüzgar kuvvetine maruz kalmayacağı düşünülmüştür.

Yükseltme katsayısının " γ_c " seçilmesi

Kren grubu A5 için yükseltme katsayısı $\gamma_c = 1.11$ olarak belirlenmiştir.

Kaldırma yükü katsayısının " ψ " seçilmesi

Kaldırma yükü katsayısının seçilmesinde krenin yük kaldırma hızı dikkate alınmaktadır. Kaldırma hızı $V_k = 2.7$ m /dk için $\psi = 1.15$ olarak seçilmiştir.

Köprü tipinin belirlenmesi

Köprü tipi olarak çift kutu kiriş konstrüksiyonu seçilmiştir.

Kutu kirişin eğilme atalet ve mukavemet momentinin hesaplanması

İlk olarak kiriş üzerine etkiyen tekerlek kuvvetinin hesaplanması gerekir.

$$F_{Tek} = \frac{F_Y + F_A}{n_{Tek}} \Rightarrow F_{Tek} = \frac{343350 + 29430}{4} \Rightarrow F_{Tek} = 93195 \text{ N olarak bulunur.}$$

Gerekli atalet momenti;

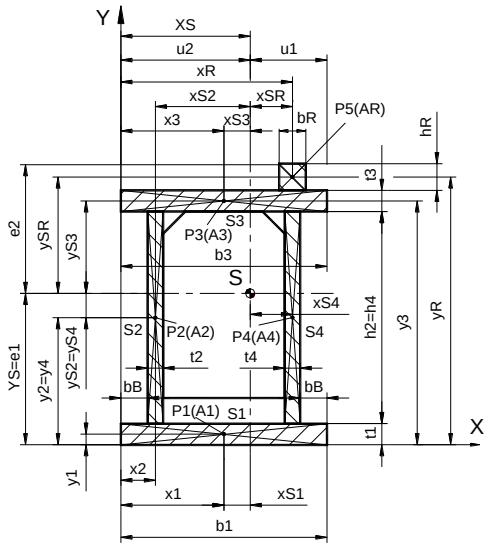
$$J_{xerf} = \frac{F_{Tek}\,(L_K - L_A)}{48\,E\,f_K}\left[3L_K^{\,2} - (L_K - L_A)^2\right]$$

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

J_{xerf} = 3020. 10^6 mm^4 olarak bulunur.

Kiriş seçimi ve hesabı

Standart doublebeam kataloğundan J_{xerf} = 3020.10^6 mm^4 için DB20 nolu kutu kiriş seçilir. (Ek-B)



Şekil 4.22. Standart kutu kirişin hesap ölçüleri

DB20 nolu kutu kiriş ölçüleri şunlardır;

B_1= B_2 = 500mm t_1 = t_3 = 10mm t_2 = t_4 = 6mm h_2 = h_4 = 1200mm

b_R= 50mm h_R= 30mm

Kiriş ölçüleri belirlendikten sonra parçaların ve sistemin alanının hesaplanması gereklidir.

$A_1 = B_1 t_1 \Rightarrow$ A_1= 5000mm^2

$A_2 = h_2 t_2 \Rightarrow$ A_2=7200 mm^2

$A_R = b_R h_R \Rightarrow$ A_R=1500 mm^2

A_1=A_3 ve A_2= A_4

$A_{Top} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_R$

A_{Top}= 25900 mm^2 olarak bulunur.

Sistemin alanı hesaplandıktan sonra sistemi oluşturan parçaların ve kirişin ağırlık merkezinin koordinatlarının bulunması gerekmektedir.

$X_1 = 0{,}5.B_1$	$X_1 = 250mm$
$X_2 = b_B + 0{,}5.t_2$	$X_2 = 40mm$
$X_3 = 0{,}5.B_3$	$X_3 = 250mm$
$X_4 = B_2 - (b_B + 0{,}5.t_2)$	$X_4 = 460mm$
$X_R = B_2 - (b_B + 0{,}5.t_2)$	$X_R = 460mm$
$Y_1 = 0{,}5.t_1$	$Y_1 = 5mm$
$Y_2 = t_1 + 0{,}5.h_2$	$Y_2 = 610mm$
$Y_3 = t_1 + 0{,}5.t_1 + h_2$	$Y_3 = 1215mm$
$Y_4 = t_3 + 0{,}5.h_4$	$Y_4 = 610mm$
$Y_R = t_1 + t_1 + h_2 + 0{,}5h_R$	$Y_R = 1235mm$

$X_{S1} = X_S - X_1$	$X_{S1} = 12.2mm$	$Y_{S1} = Y_S - Y_1$	$Y_{S1} = 641.2mm$
$X_{S2} = X_S - X_2$	$X_{S2} = 222.2mm$	$Y_{S2} = Y_S - Y_2$	$Y_{S2} = 46.2mm$
$X_{S3} = X_S - X_3$	$X_{S3} = 12.2mm$	$Y_{S3} = Y_S - Y_3$	$Y_{S3} = 568.8mm$
$X_{S4} = X_S - X_4$	$X_{S4} = 197.8mm$	$Y_{S4} = Y_S - Y_4$	$Y_{S4} = 46.2mm$
$X_{SR} = X_{S4}$	$X_{SR} = 197.8mm$	$Y_{SR} = Y_{S4}$	
$Y_{SR} = 46.2mm$			

$$X_S = \frac{X_1.A_1 + X_2.A_2 + X_3.A_3 + X_4.A_4 + X_R.A_R}{A_{Top}}$$

$X_S = 262.2mm$

$$Y_S = \frac{Y_1.A_1 + Y_2.A_2 + Y_3.A_3 + Y_4.A_4 + Y_R.A_R}{A_{Top}}$$

$Y_S = 646.2mm$

X eksenine göre atalet momenti " I_x "

$$I_x = I_{x1} + y_1^2 A_1 + I_{x2} + y_2^2 A_2 + I_{x3} + y_3^2 A_3 + I_{x4} + y_4^2 A_4 + I_{x5} + y_5^2 A_5$$

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

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

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

$I_{Xtop} = 5436.\ 10^6\ mm^4$

Y-Eksenine göre atalet momenti " I_y "

$$I_y = I_{y1} + x_1^2 A_1 + I_{y2} + x_2^2 A_2 + I_{y3} + x_3^2 A_3 + I_{y4} + x_4^2 A_4 + I_{y5} + x_5^2 A_5$$

$I_{y1} = I_{y3}$; $I_{y2} = I_{y4}$; $A_1 = A_3$; $A_2 = A_4$; $x_1 = x_3$

$$I_y = 2\left(I_{y1} + I_{y2}\right) + I_{y5} + \left(x_2^2 + x_4^2\right)A_2 + 2\,x_3^2\,A_1 + x_4^2\,A_R$$

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

I_{Ytop}= 906. 10^6 mm^4

X-Eksenine göre mukavemet momenti " W_x "

Hesaplarda maksimum gerilme kullanıldığından minimum mukavemet momentini hesaplamak gereklidir. Minimum mukavemet 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 cm^3 $\qquad$ W_{X2}=9232 cm^3

$$W_Y = \frac{I_{Ytop}}{u_{max}}$$

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

Kren Kirişindeki Normal Gerilmelerin Hesaplanması

Kren özağırlığından oluşan gerilme " σ_1 "

$F_{AK} = (q_K + q_P)\cdot g \cdot L_K \quad \Rightarrow \quad F_{AK}$ = 1,73.9,81.13000 $\Rightarrow$ F_{AK} = 220627 N.

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

$$\sigma_1 = \frac{(q_K + q_P).g.L_K^{\,2}}{8.W_{X1}} \quad \Rightarrow \quad \sigma_1 = \frac{1{,}73.9{,}81.13000^2}{8.8412000}$$

σ_1= 42.6 N / mm^2

Bulunan gerilme değeri uygundur. Çünkü (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür. Sistemimizde platform kullanılmadığı için q_P=0 dır.

Araba özağırlığından oluşan gerilme " σ_2 "

$$M_2 = \frac{F_{AA}}{32\cdot L_K}\left(2\cdot L_K - L_A\right)^2 \qquad M_2 = \frac{29430}{8.13000}(2.13000 - 2000)^2$$

M_2= 162996923 Nmm

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

σ_2= 4.73 N / mm^2

Uygundur. Çünkü (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür.

Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme “ σ_3 ”

$$M_3 = \frac{F_Y}{32 \cdot L_K} \cdot (2 \cdot L_K - L_A)^2 \qquad M_3 = \frac{343350}{32.13000}(2.13000 - 2000)^2$$

M_3= 475407692,3 Nmm

$$\sigma_3 = \frac{F_Y}{32.W_{X1}.L_K}(2.L_K - L_A)^2 \qquad \sigma_3 = \frac{343350}{32.8412000.13000}(2.13000 - 2000)^2$$

σ_3= 50.5 N / mm^2

Bulunan gerilme değeri uygundur. Çünkü (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür.

Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme “ σ_4 ”

$$M_4 = 0.075.L_K\left[(q_K + q_P).g.L_K + \frac{F_{AA}}{2}\right]$$

$$M_4 = 0{,}075.13000\left[1{,}73.9{,}81.13000 + \frac{29430}{2}\right]$$

M_4=229458352.5 Nmm

$$\sigma_4 = \frac{0.075.L_K}{W_{Y1}}\left[(q_K + q_P).g.L_K + \frac{F_{AA}}{2}\right]$$

$$\sigma_4 = \frac{0.075.13000}{3455000}\left[1{,}73.9{,}81.13000 + \frac{29430}{2}\right]$$

σ_4= 10.5 N / mm^2

Bulunan gerilme değeri uygundur. Çünkü (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür. Ayrıca yaptığımız hesaplarda q_P=0 dır. Çünkü sistemimizde platform kullanılmamaktadır.

Araba kasılması sonucu oluşan gerilme “ σ_5 ”

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

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

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

$$\sigma_5 = \frac{0.05.L_A}{W_{Y1}}(F_{AA} + F_Y) \qquad \sigma_5 = \frac{0{,}05.2000}{3455000}(29430 + 343350)$$

σ_5 = 13.7 N / mm^2 Bulunan gerilme değeri uygundur. Çünkü (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür.

Maksimum ve minimum gerilmelerin hesaplanması " σ_{max} , σ_{min} "

Maksimum gerilme;

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

σ_{max}= 1.11 (42.6 + 4.73 + 1.15.50.5 + 10.5 + 13.73)

σ_{max}= 143.9 N / mm^2 dir.

Minimum gerilme;

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

σ_{min} = 47.33 N / mm^2 dir.

Bulunan maksimum ve minimum gerilme değerleri uygundur. Çünkü her iki değerde (σ_{EM}=160 N /mm^2) emniyetli gerilme değerinden küçüktür.

Kirişte Meydana Gelen Kayma Gerilmelerinin Hesaplanması

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen torsiyon gerilmesi " τ_t "

Torsiyon momenti (42.c) ifadesinden,

$M_t = (x_4 + 0,2 y_5) . \frac{F_{AA} + F_Y}{2}$ M_t=(212 + 0,2.588,8). $\frac{29430 + 343350}{2}$

M_t=61463966.4 Nmm

olarak hesaplanır.

Ortalama kiriş alanı ise (44) ifadesinden,

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

A_m= 513040 mm^2 bulunur.

Buna göre torsiyon gerilmesi,

$\tau_t = \frac{(x_4 + 0.2\, y_5).(F_{AA} + F_Y)}{4.\, t_2 .(x_2 + x_4).(y_1 + y_3)}$ $\tau_t = \frac{(212 + 0,2.58).(29430 + 343350)}{4.6.(212 + 212).(605 + 605)}$

τ_t = 9.98 N / mm^2

bulunur. Emniyetli kayma gerilmesi τ_{EM}= 92 N / mm^2 dir. Bulunan gerilme değeri emniyet gerilmesi değerinden küçük olduğu için uygundur.

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi " τ_k "

Maksimum kesme 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_{kmax} =213760 N

olarak bulunur.

Kesme alanı ise,

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

olarak bulunur.

Tekerlek kuvvetlerinden ileri gelen kesme gerilmesi,

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

τ_k = 14.84 N / mm^2

bulunur. Emniyetli kayma gerilmesi τ_{EM}= 92 N / mm^2 dir. Bulunan gerilme değeri emniyet gerilmesi değerinden küçük olduğu için uygundur.

Kirişteki toplam kayma gerilmesi

Kirişteki toplam kayma gerilmesi,

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

τ_{top}= 24.82 N / mm^2

dir. Emniyetli kayma gerilmesi τ_{EM}= 92 N / mm^2 dir. Hesaplanan gerilme değeri uygundur.

Kren Kirişindeki Bileşke Gerilmeler

Burada gerilmeler bir eksenli olarak kabul edilir ve Biçim Değiştirme Enerjisi hipotezine göre toplanır. Bileşke gerilme,

$$\sigma_V = (\ \sigma_{max}^2 + 3.\tau_{top}^2\ )^{1/2} \qquad \sigma_V = (\ 143.9^{\ 2} + 3.\ 24.82^{\ 2}\ )^{1/2}$$

σ_V = 150.186 N / mm^2

olarak hesaplanır. Hesaplanan bu değer çekme gerilme değeridir. Emniyetli çekme gerilmesi σ_{EM}=160 N /mm^2 dir. Dolayısıyla hesaplanan bileşke gerilme emniyet gerilme değerinden küçük olduğu için uygundur.

Normal Basma Gerilmesinin Hesaplanması

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

X eksenine göre basma mukavemet değeri,

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

Y eksenine göre basma mukavemet değeri,

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

Kren öz ağırlığından oluşan gerilme " σ_{1B} "

$$\sigma_{1B}=\frac{(q_K+q_P).g.L_K{}^2}{8.W_{X2}} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{1B}=\frac{1{,}73.9{,}81.13000^2}{8.9232000} \quad \Rightarrow \quad \sigma_{1B}= 38.8 \ N/mm^2$$

Araba öz ağırlığından oluşan gerilme " σ_{2B} "

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

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

Kaldırma yükünden ileri gelen gerilme " σ_{3B} "

$$\sigma_{3B}=\frac{F_Y}{32.W_{X2}.L_K}(2.L_K - L_A)^2 \qquad \sigma_{3B}=\frac{343350}{32.9232000.13000}(2.13000-2000)^2$$

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

Atalet kuvvetlerinden ileri gelen gerilme " σ_{4B} "

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

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

Araba kasılması sonucu oluşan gerilme " σ_{5B} "

$$\sigma_{5B} = \frac{0.05.L_A}{W_{Y2}}(F_{AA}+F_Y) \quad \sigma_{5B}=\frac{0{,}05.2000}{3810000}(29430+343350)$$

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

Maksimum ve minimum gerilmelerin hesaplanması " σ_{Bmax} , σ_{Bmin} "

$\sigma_{Bmax} = \gamma_c . (\sigma_{1B} + \sigma_{2B} + \psi . \sigma_{3B} + \sigma_{4B} + \sigma_{5B})$

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

$\sigma_{Bmax} = 131 \ N / mm^2$

$\sigma_{Bmin} = \sigma_{1B} + \sigma_{2B}$ $\sigma_{Bmin} = 38.8 + 4.31 = 43.11 \ N / mm^2$

Bileşke Basma Gerilmesi

Burada gerilmeler bir eksenli olarak kabul edilir ve Biçim Değiştirme Enerjisi hipotezine göre toplanır. Bileşke gerilme,

$\sigma_{VB} = (\sigma_{Bmax}^2 + 3.\tau_{top}^2)^{1/2}$ $\sigma_V = (131^2 + 3. 24.82^2)^{1/2}$

$\sigma_V = 133.4 \ N / mm^2$

olarak hesaplanır. Emniyetli çekme gerilmesi σ_{EM}=140 N / mm^2 dir. Dolayısıyla hesaplanan bileşke gerilme emniyet gerilme değerinden küçük olduğu için uygundur.

Dinamik Kontrol

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

Hesabı yapılan örnekte kren grubu U5, çentik grubu K3 ve κ=0 (en kötü hal)için sürekli dinamik çekme gerilmesi,

Tablo 3.a'dan σ_{DEMK3}= 127 N / mm^2 olarak seçilir.

$$\sigma_{DzEMK3} = \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{DEMK3}}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{DEMK3}}{0,75 \cdot R_m} \right) \cdot \kappa}$$

$$\sigma_{Dz(\kappa)EM} = \frac{5}{3} \cdot \frac{127}{1 - \left(1 - \frac{5}{3} \cdot \frac{127}{0,75.340} \right)}$$

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

olarak hesaplanır.

$\sigma_{Dz(\kappa)EM}$= 180.9 N / mm^2 > σ_V = 150.186 N / mm^2 olduğu için sistem emniyetlidir.

Yan Levhaların Buruşmaya Karşı Kontrolü

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

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

olarak yazılır.

Levhadaki ideal flambaj (buruşma) normal gerilmesi, levhadaki Euler gerilmesinin buruşma katsayısı k_σ ile çarpılmasıyla bulunur.

$\sigma_{Pi} = k_\sigma \, \sigma_e$

Levhadaki flambaj için geçerli gerilme Euler gerilmesidir ve Euler gerilmesi formülü, malzemenin mekanik değerleri ve konstruksiyonu yapılan parçanın boyutları ile kurulacak olursa,

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot \left(1 - \upsilon^2\right)} \cdot \left(\frac{t_2}{h_2}\right)^2$$ E=210000 N / mm^2 ve ν=0.3 için $\sigma_e = 189\,800 \cdot \left(\frac{t_2}{h_2}\right)^2$

σ_e= 4.745 N / mm^2 olur.

Normal buruşma katsayısı Ek-C'den κ=-1 değeri için k_σ = 23.9 seçilir.

Kayma buruşma katsayısı Ek-C'den

$\alpha = \frac{L_{Pe}}{h_2}$ $\alpha = \frac{1.5}{1.2}$ =1.25 ≥1 olduğu için,

$k_\tau = 5{,}34 + \frac{4}{\alpha^2}$ $k_\tau = 5.34 + \frac{4}{1.25^2}$ k_τ = 7.9 olur.

Levhadaki ideal flambaj normal gerilmesi,

$\sigma_{Pi} = k_\sigma \, \sigma_e$ σ_{Pi}= 23,9.4.745 σ_{Pi}=112 N / mm^2 olur.

Levhadaki ideal flambaj kayma gerilmesi,

$\tau_{Pi} = k_\tau \, . \, \sigma_e$ τ_{Pi} = 7,9. 4.745 τ_{Pi} = 37.5 N / mm^2 olur.

İdeal buruşma gerilmesi,

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

$$\sigma_{VPi} = \frac{150{,}186}{\sqrt{\left(\frac{143.9}{112}\right)^2 + \left(\frac{24.82}{37.5}\right)^2}}$$

σ_{Vpi} = 104 N / mm^2 olarak bulunur.

Üst Levhanın Buruşmaya Karşı Kontrolü

Üst kuşak levhasındaki ideal flambaj gerilmesi κ = + 1 için,

$$\sigma_{VPi} = \frac{\sigma_V}{\frac{\sigma_{max}}{2\,\sigma_{Pi}} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2\,\sigma_{Pi}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max}}{\tau_{Pi}}\right)^2}}$$

olur. Bu değer DIN 4114 T1'e göre seçilmiştir.

Ek-C'den Normal buruşma katsayısı,

$k_\sigma = \dfrac{8,4}{1,1+\kappa}$ $\qquad k_\sigma = \dfrac{8,4}{1,1+1}$ $\qquad k_\sigma = 3.818$ olur.

Ek-C'den kayma buruşma katsayısı,

$k_{\tau H} = 5.34 + (4 / \alpha_H^2)$ $\qquad k_{\tau H} = 5.66$ bulunur.

Euler gerilmesi,

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot \left(1 - \upsilon^2\right)} \cdot \left(\frac{t_1}{b_H}\right)^2 \qquad \sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot 210000}{12 \cdot \left(1 - 0.3^2\right)} \cdot \left(\frac{10}{426}\right)^2 \qquad \sigma_e = 104.6 \text{ N / mm}^2 \text{ dir.}$$

Üst levhadaki ideal flambaj normal gerilmesi,

$\sigma_{Pi} = k_\sigma . \sigma_e$ $\qquad \sigma_{Pi} = 3,818 .104,6$ $\qquad \sigma_{Pi} = 399.4$ N / mm^2 olur.

Üst levhadaki ideal flambaj kayma gerilmesi,

$\tau_{Pi} = k_{\tau H}\, \sigma_e$ $\qquad \tau_{Pi} = 5,66 . 104,6$ $\qquad \tau_{Pi} = 592$ N / mm^2 olur.

Üst kuşak levhasındaki ideal flambaj gerilmesi,

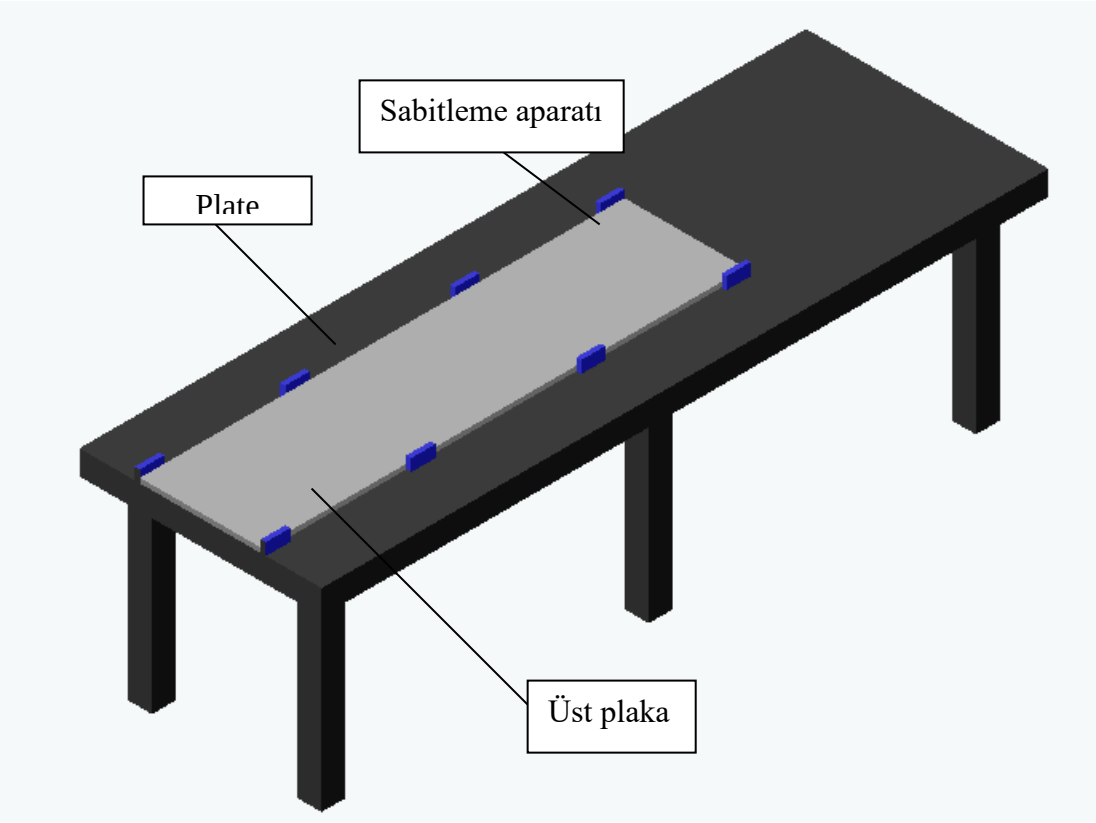
$$\boxed{\sigma_{VPi} = \frac{150.186}{\dfrac{143.9}{2.399,4} + \sqrt{\left(\dfrac{143.9}{2.399,4}\right)^2 + \left(\dfrac{24,82}{592}\right)^2}}}$$

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

$\sigma_{VPi} = 411.35$ N / mm^2 değeri için hakiki flambaj (buruşma) gerilmesi $\sigma_{VP} \approx 220$ N / mm^2 dir. Dolayısıyla $\sigma_{VPi} = 411.35$ N / mm^2 > $\sigma_{VP} \approx 220$ N / mm^2 olduğu için kiriş üst başlık levhasında buruşma tehlikesi yoktur.

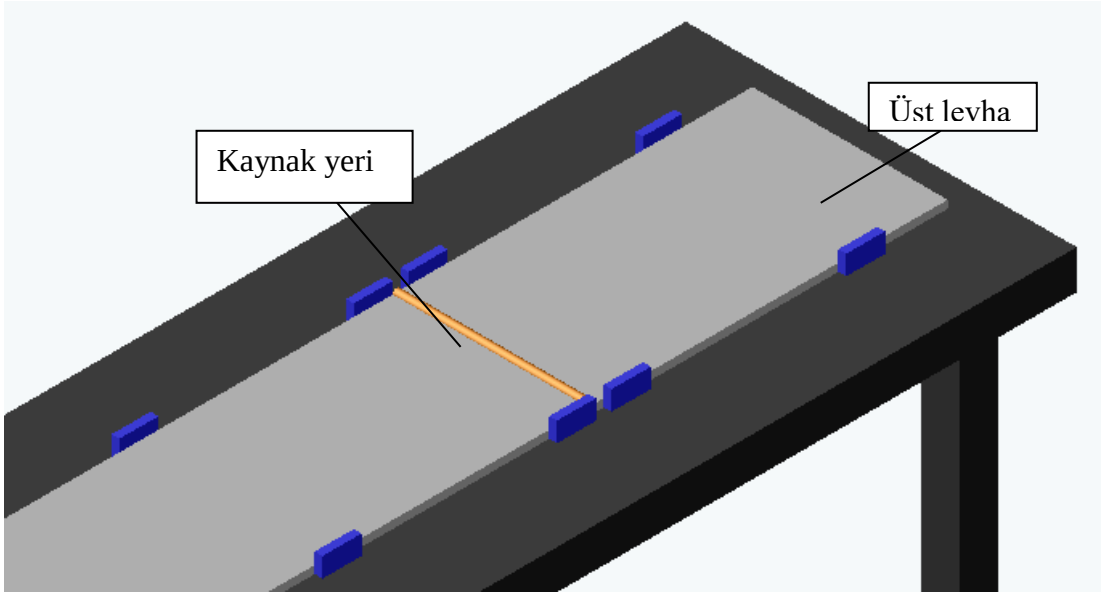
Kren Köprüsü İmalat Esasları

1. Üst plaka plate üzerine konur ve sabitleme aparatları ile sabitlenir. Burada plate daha önce üzeri su terazisi veya başka bir düzlem düzeltici vasıtasıyla doğrusallığı sağlanmış yapıdır. Sabitleme yapıldıktan sonra merkezleme işlemi yapılır. Merkezleme işlemi yapılırken levhanın yan yüzeylerinin, ön ve arka yüzeylerinin düzgün olması gerekmektedir. Ayrıca sabitleme aparatlarının da yüzeyi düzgün olmalıdır. Aksi halde tam bir merkezleme ve sabitleme işlemi gerçekleştirilmiş olmaz. Merkezleme işleminin amacı hem düzgün boyutlar elde etmek hem de kaçıklıktan meydana gelebilecek gerilmeleri ortadan kaldırmaktır.



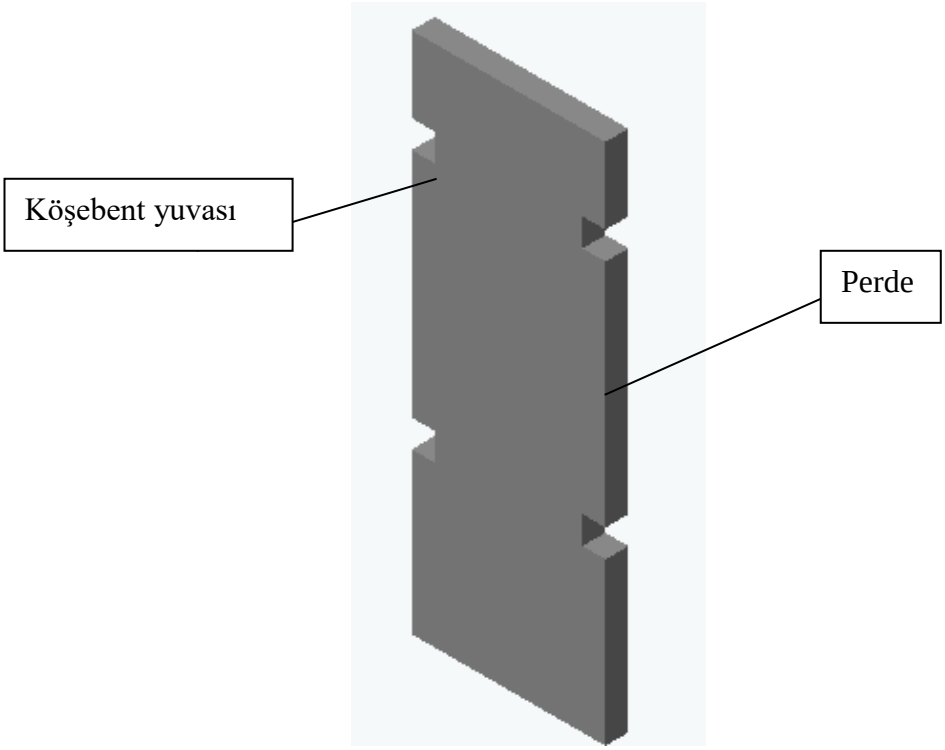
Şekil 1 Üst plakanın plate üzerine yerleşimi

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



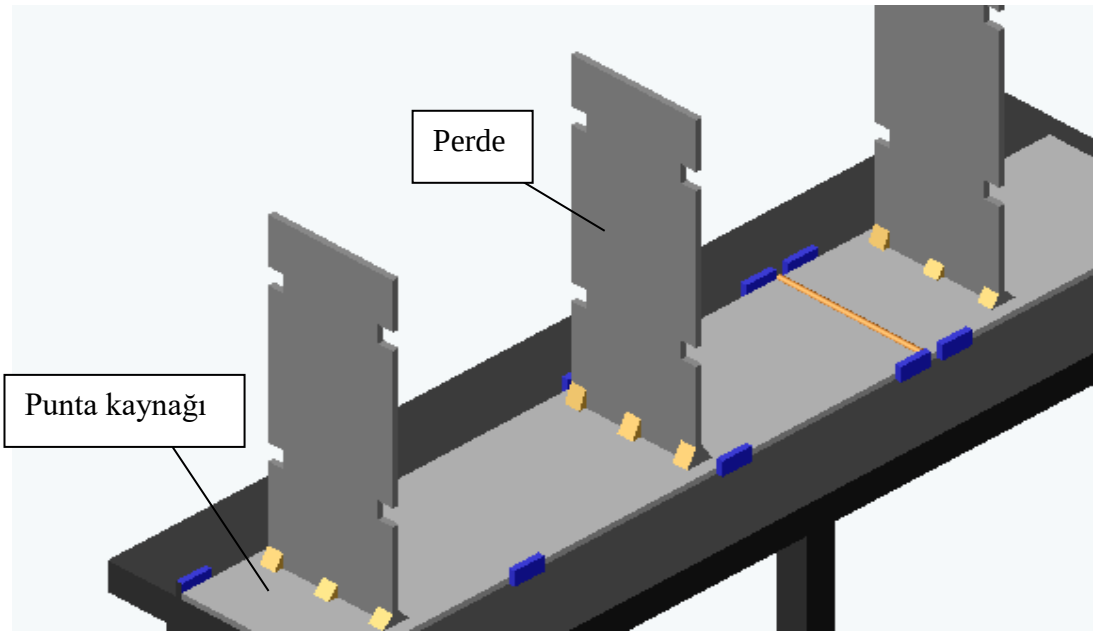
Şekil 2 Üst levhanın sabitlenmesi ve kaynaklanması

3. Perdeler verilen imalat ölçülerine göre kesilir. Daha sonra perdelere köşebent yuvaları açılır.



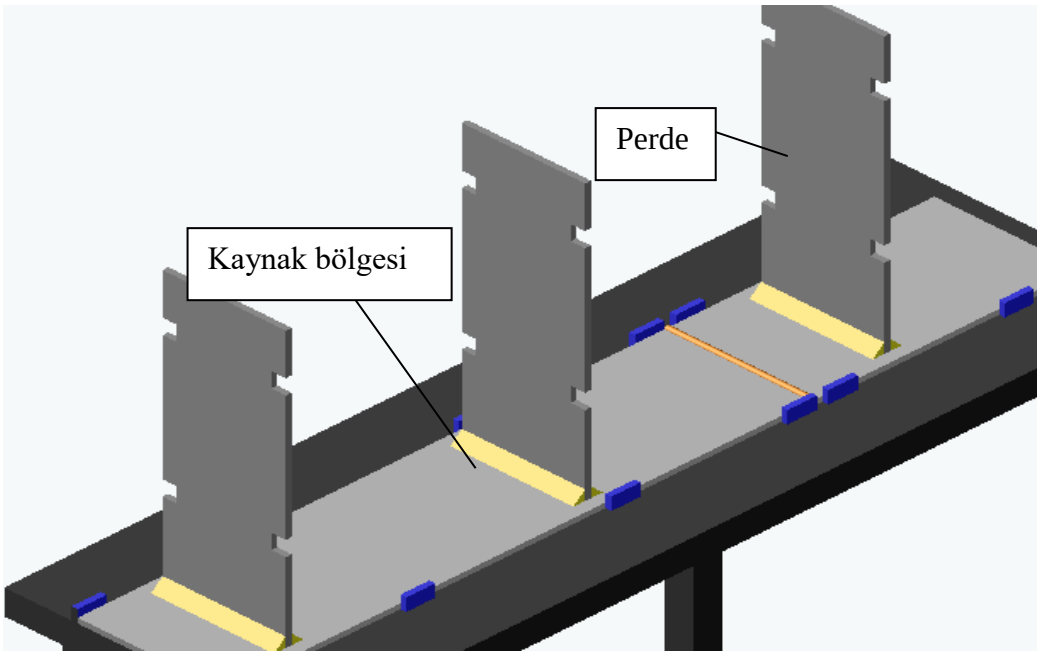
Şekil 3 Köşebent yuvaları açılan perde

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



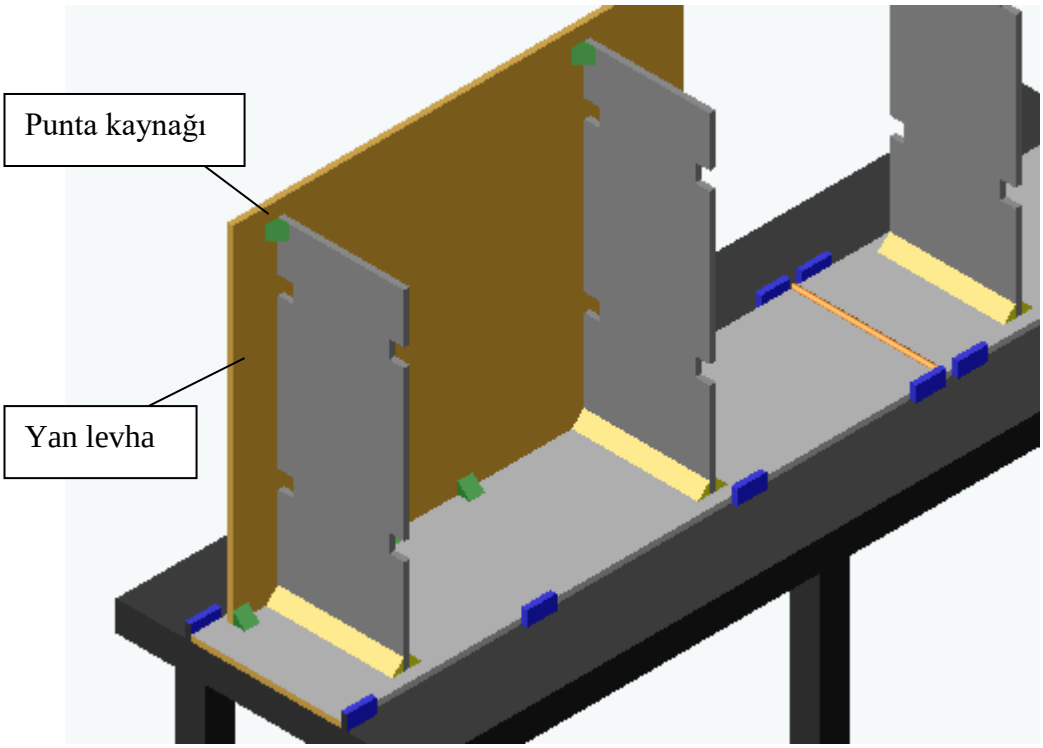
Şekil 4 Perdelerin üst levhaya puntalanması

5. İç kısımlardan punta kaynağı ile üst levhaya sabitlenen perdelerin imalat ölçülerine uygun olarak sabitlenip sabitlenmediği kontrol edilir. Uygun görüldükten sonra iç ve dış kısımlardan kaynak yapılır.



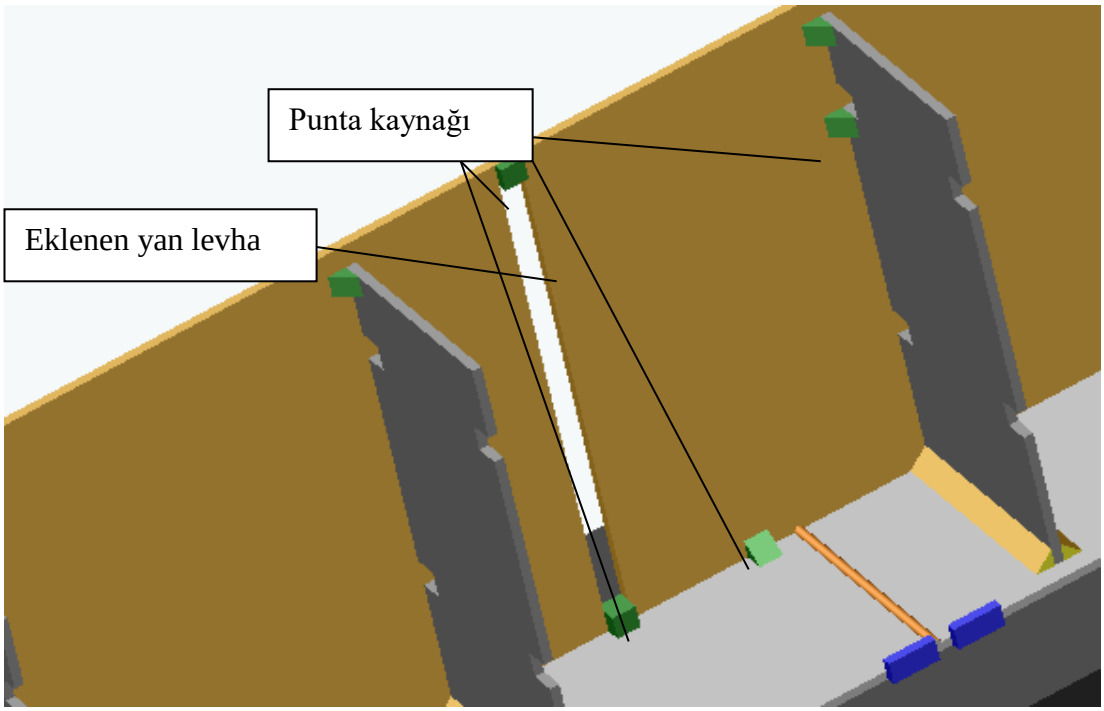
Şekil 5 Perdelerin üst levhaya kaynaklanması

6. Yan levha üst plakaya belirlenen ölçü yerinden puntalanarak sabitlenir.



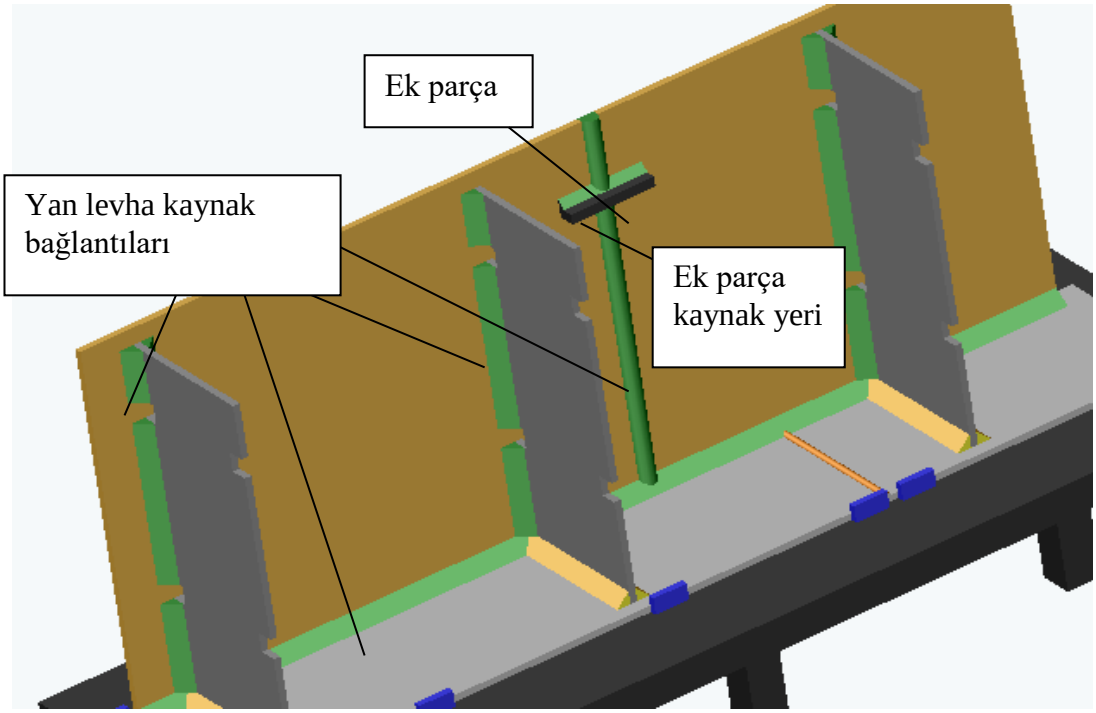
Şekil 6 Yan levhanın puntalanması

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



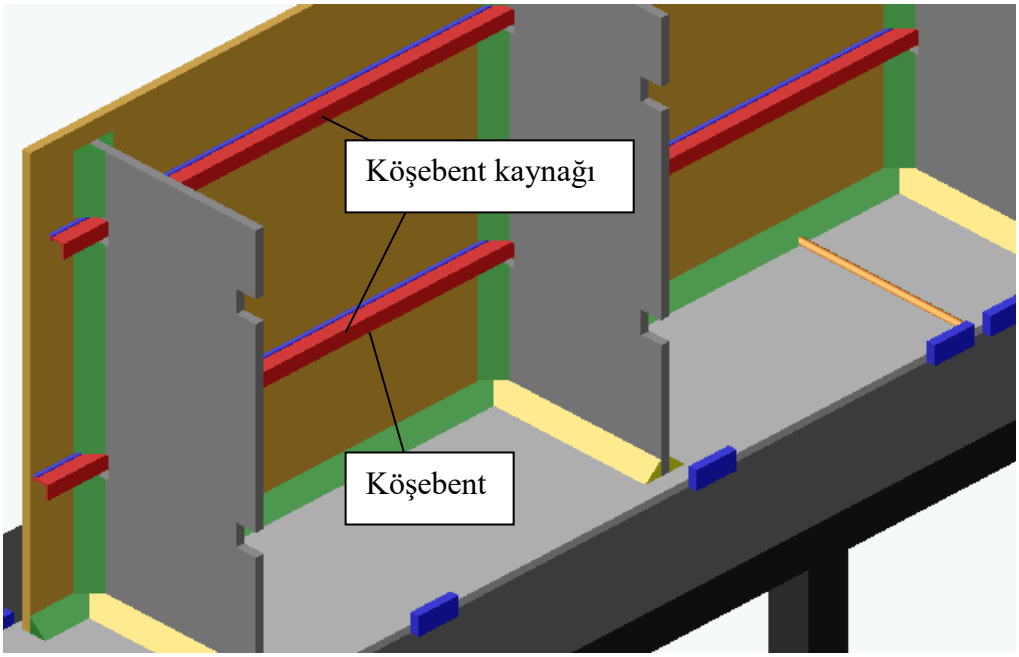
Şekil 7 Yan levhanın diğer yan levha ve köprü elemanlarına puntalanması

8. Puntalanarak sabitlenen yan levhaların imalat ölçülerine uygun olup olmadığı kontrol edildikten sonra yan levhalar diğer köprü elemanlarına kaynaklanır. Daha sonra iki yan levha birbirine araya parça konarak kaynatılır.



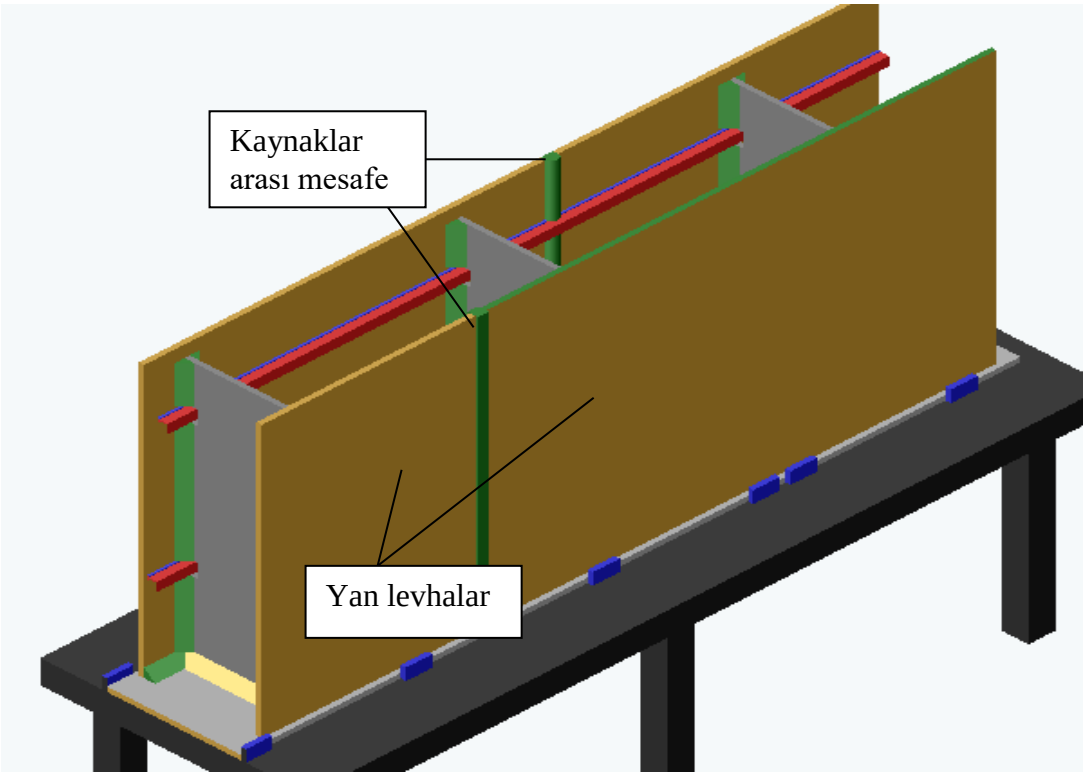
Şekil 8 Yan levhaların kaynaklı gösterimi

9. Yan levhaların kaynakla konstrüksiyonu gerçekleştikten sonra yan levhalarda oluşacak buruşma (flambaj) gerilmelerini engellemek için köşebent kaynatılır.



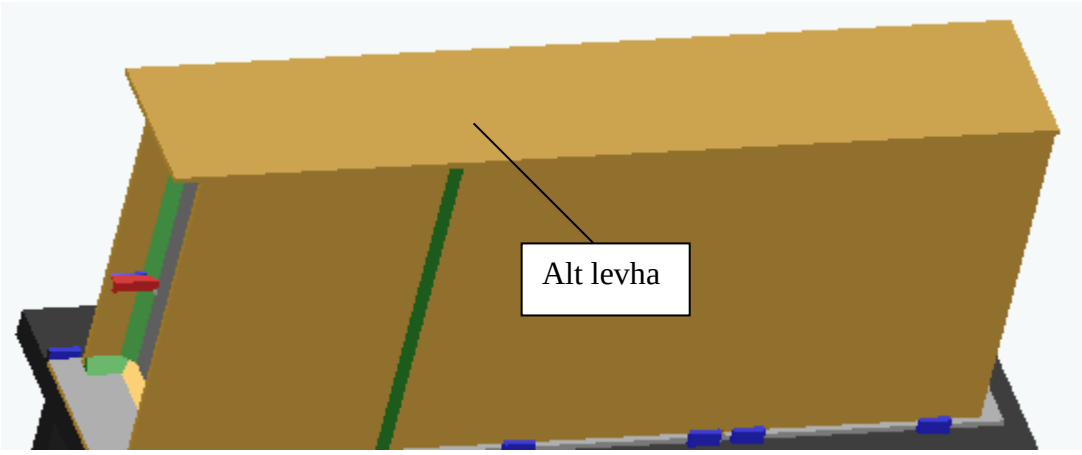
Şekil 9 Köşebentlerin yan levhaya kaynakla bağlanması

10. 6,7,8,9 numaralı işlemler diğer tarafa da konulacak olan yan levhalar için tekrarlanır. Ancak diğer taraftaki levhaların birleşme noktalarından bu taraftaki yan levhalar arasındaki kaynak bağlantısı arasında levha boyunun yarısı kadar kaçıklık (mesafe) olmalıdır.



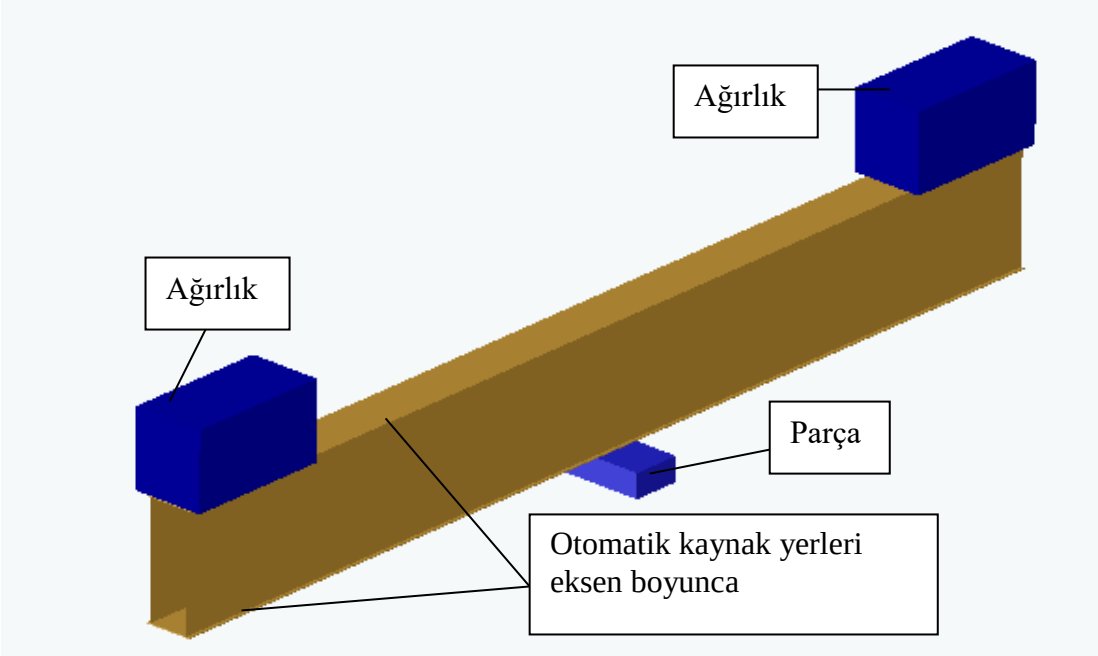
Şekil 10 Yan levhanın kutu kiriş üzerine yerleşimi

11. Alt levha punta kaynağı yapılarak üst kısma sabitlenir.



Şekil 11 Alt levhanın kutu kiriş üzerine sabitlenmesi

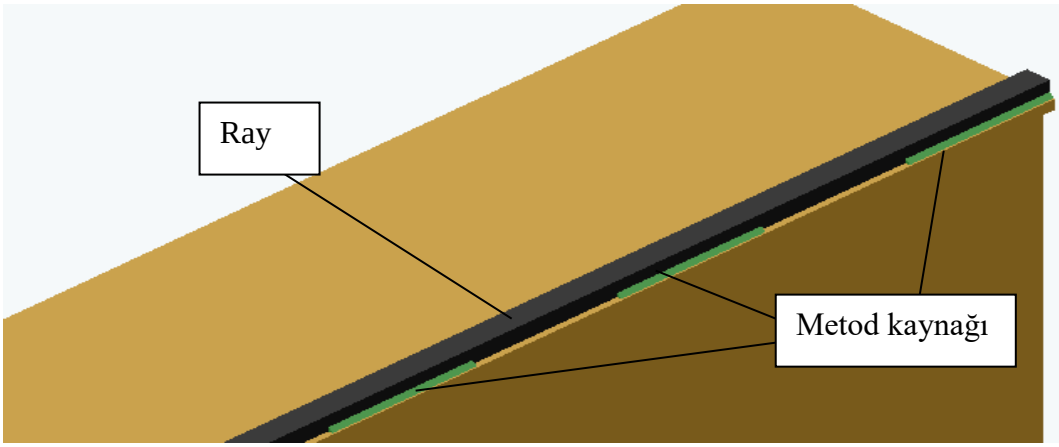
12. Kutu kiriş ters çevrilir ve otomatik kaynak hattına yerleştirilir. Kirişin orta kısmına bir parça konur ve uç kısımlarına hesaplanan sehim değerini sağlayacak kadar ağırlıklar yerleştirilir. Daha sonra kutu kirişin dış noktalarından eksen boyunca otomatik kaynak makinesiyle kaynak yapılır.



Şekil 12 Kutu kirişin otomatik kaynak hattına yerleştirilmesi

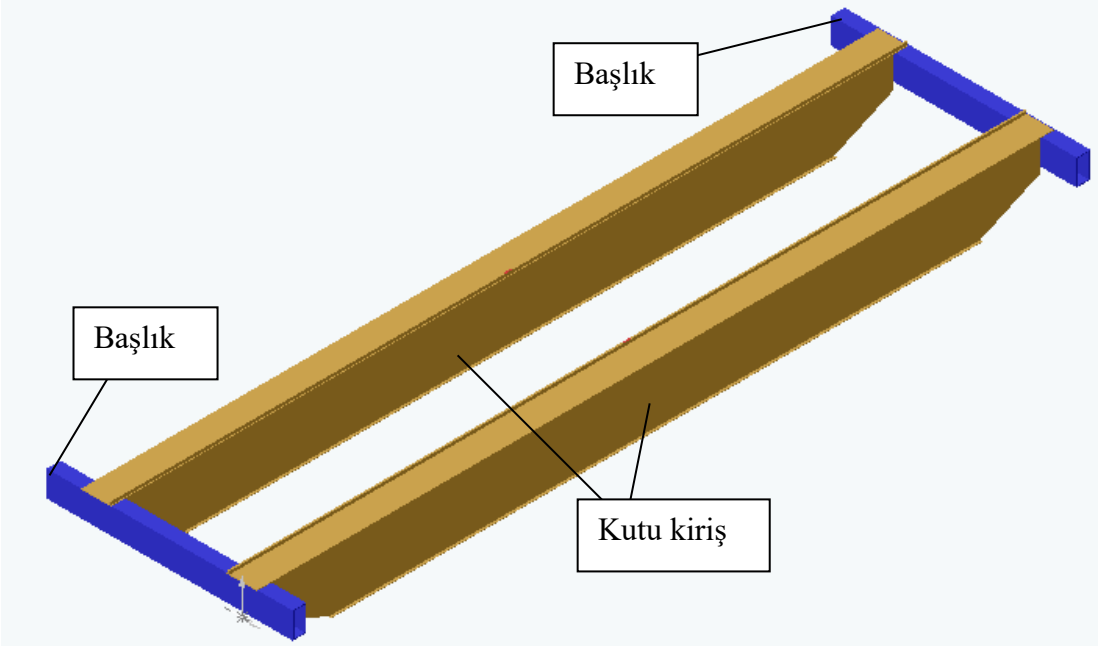
13. Dışarıdan yan saclar kutu kiriş yatırılarak kaynak yapılır. Kutu kiriş yan levhalarının yan yatırılarak kaynak yapılması dik yapılan kaynaktan daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

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



Şekil 13 Rayın kutu kirişe metod kaynağı ile montajı

15. Kiriş kurma işlemi (başlıklar üzerine oturtma) gerçekleştirilir. Başlıklar kiriş çatımında nivo ile katları alınarak eksenel düzlemde doğrusallığı sağlanarak başlıklar sabitlenir. Daha sonra kutu kiriş başlıklar üzerine oturtulur ve köprü hazır hale gelir.



Şekil 14 Kren köprüsünün tamamlanmış hali

Kren Köprüsü İmalat Kısıtları

Bir kren köprüsü ile ilgili imalat kısıtları aşağıdaki maddelerle açıklanmıştır;

1.) Kaynak kalitesi,

2.) Köprü kurulması,

3.) Köprü çatımı.

Kaynak kalitesi

Kutu kiriş konstrüksiyona sahip bir kren köprüsü için imalat hattında kaynak yapılabilmesi ve kaynak kalitesi imalat kısıtlarından biri olarak kabul edilebilir. Çünkü kutu kiriş yapı itibariyle kapalı konstrüksiyona sahiptir. Yan levhaların iç kısımlarından üst levhaya kaynatılırken meydana gelen yer kısıtlamalarından dolayı kaynak kalitesi diğer bölgeler kadar yüksek olmamaktadır. Ayrıca köşebentlerin yan levha boyunca üniform bir şekilde kaynaklanması da yer kısıtlamasından dolayı imalata etkiyen bir kısıtlama olarak kabul edilebilir. Bu bilhassa küçük yükleri taşıyacak olan kutu kirişler için geçerlidir.

Köprü kurulması

Köprülü krenlerin boyutları genel olarak kren açıklığı ve taşıyacağı yüke bağlı olarak değişmektedir. Kren köprüsünün boyu örneğin 30m olabilir. Bu açıklıkta bir köprünün kurulabilmesi için genişliği dar fakat uzunluk olarak büyük bir fabrikanın olması gerekmektedir. Bu sağlıklı bir imalat hattının oluşturulabilmesi için gerekli olan en önemli şartlardan birisidir.

Köprü çatımı

Kutu kiriş imalatı tamamlandıktan sonra köprü çatımının yapılması yani belirlenen araba açıklığı değerinde kutu kirişin başlıklar üzerine oturtulması gerekmektedir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için belirli bir yükseklikte raylı yapının oluşturulması gerekmektedir. Bu raylı yapı üzerine kren köprüsü kolayca ve istenen araba açıklığında yapılabilmelidir. Bunun içinde yapının ölçekli olması önemlidir.

EK- B

	B	h	S1	S2	Ry	Rx	e	r1	r2	U1	U2	Fm	Fo	Jx(cm-4)	Jy(cm-4)	Wx(cm^)	Wy(cm2)	M(mm)	Kesit(F)cm2	ağırlık
DB 01	25	50	0,6	0,5	3	5	18	21,02	29,58	7,05	11,45	936,1	25	38.908	7.006	1.302	477	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

TabloÇift kiriş tablosu

EK C

Yan ve üst levha için buruşma katsayıları