

## Sonlu Elemanlar Yöntemiyle 3.5 Tonluk Tek Dingilli Bir Tarım Arabasına Ait Çeki Halkasının Gerilme Analizi

Muharrem ZEYTİNOĞLU<sup>1</sup>

**Öz.** Çekilerek çalıştırılan tarım alet ve makinalarının ve tarım arabalarının çeşitli tarım faaliyetlerinde sıkça kullanıldığı bilinmektedir. Bu tip araçların çeki oku ucunda yer alan çeki halkası, bir pim vasıtasıyla Traktör gibi çekici bir aracın çeki demirine bağlanmaktadır. Böyle bir bağlantıda traktörün hareket etmesi ve fren yapmasıyla çeki halkası dinamik olarak çekiye ve basıya zorlanmaktadır. Zorlanmalara ilişkin gerilmelerin belirlenmesi amacıyla, araştırmada 3.5 tonluk tek dingilli bir tarım arabasının çeki halkası incelemeye alınmıştır. İlk olarak çeki halkasının çeki kuvveti ve düşey reaksiyon kuvveti belirlenmiş daha sonra bu kuvvetlere göre çekme ve kesme gerilmeleri belirlenerek mukavemet analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çeki halkası, çekme kuvveti, düşey reaksiyon kuvveti, çekme gerilmesi, kesme gerilmesi.

### Strength Analysis of Drawbar Eye of a Trailer with a Single Axle and 3.5 Ton by Using Finite Elements Method

**Abstract.** Some machinery and equipments such as trailers worked by drawing are often used in agriculture. The eye of drawbar placed at the end of drawbar of this type machines and trailers is mounted by a pin to the drawbar clevis of drawing vehicles as agricultural tractors. The drawbar eye is forced as strain–stress through draw and press depending on moving and braking of tractor as a dynamic in this mounting. In this research, in order to determine the strength of a drawbar eye, a single axle and 3.5 ton trailer was investigated. First of all the draw force and vertical reaction force were determined for the drawbar eye. Afterward, responding to these forces, the strength analysis was made via determination of strain and shearing stress.

**Key Words:** The drawbar eye, draft, vertical reaction force, strain stress, shearing stress.

#### Giriş

Çekilerek çalıştırılan tarım alet ve makinaları ve tarım arabalarına ait çeki halkası bağlantı hareketi bazı mekanizmaların mafsal bağlantılarında olduğu gibi düşünülebilir. Böyle bir mafsal bağlantısı eksenel veya herhangi açıda bir çeki kuvveti ile zorlanabilmektedir. Bu zorlamada eksenel veya açılı çeki kuvvetlerine göre en kritik kesit, çekme doğrultusuna dik yöndeki mafsal deliği merkezine rastlayan duvar kesiti olmaktadır. Bu araştırmada, incelemeye alınan çeki halkası, mafsal bağlantısı olarak düşünülmüş ve kritik kesit olarak, eksenel çeki doğrultusuna dik yöndeki, çeki halkası merkezine rastlayan delik duvarı dikkate alınmıştır. Araştırmada, eksenel çeki kuvvetinden başka, tek dingilli tarım arabası özelliğine göre, tarım arabası yükünden kaynaklanan çeki halkası düşey kuvveti de hesaba katılmıştır. Eksenel çeki ve düşey reaksiyon kuvvetleri olarak her iki dış kuvvete göre çeki halkasının kritik kesitlerinde çekme ve kesme gerilmeleri belirlenmiştir. Araştırmanın sonunda gerilme analizi yapılarak, çeki halkalarının boyutlandırılması ve malzeme seçimleri üzerine öneride bulunulmuştur.

#### Materyal ve Yöntem

##### Materyal

Araştırmada materyal olarak 3.5 tonluk, tek dingilli bir tarım arabasının çeki okuna ait çeki halkası incelemeye alınmıştır (Anonim, 1998).

##### Yöntem

Çeki halkasının doğrusal çeki yönünde, eksenel çeki kuvveti ve düşey kesme kuvvetinin belirlenmesi için Şekil 1'de, (A) Noktasına göre moment alınarak;  $\sum MA=0$ ;

$$R_2 \cdot 3340 - G \cdot 2640 = 0 \quad (1)$$

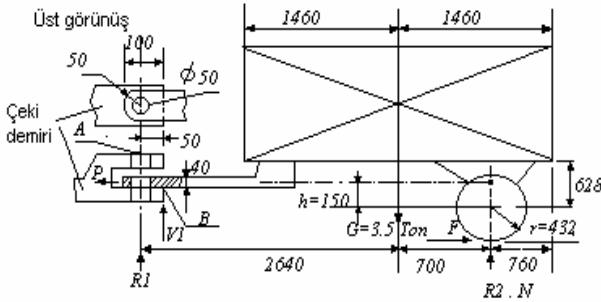
eşitliğinden reaksiyon kuvveti ( $R_2$ ), hesaplanmaktadır. Burada; G : Homojen yük ile dolu kasa ağırlığı;(35000 N),

$R_2$  : Reaksiyon kuvveti (27664.60 N). Toplam reaksiyon kuvveti;

$$G = R_1 + R_2 \quad (2)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada;  $R_1$  : Çeki halkası reaksiyon kuvveti (7335,40 N), olarak hesaplanmıştır. Her iki kuvvet tarım arabasının çeki oku ucunda, traktör çeki demirine göre Şekil 1'de belirtilmiştir.

<sup>1</sup> U.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü-Bursa



**Şekil 1.** Tarım arabası ve çeki halkasının ölçüleri (Anonim, 1998)

Şekil 1'e göre; tarım arabası yatay düzlemde düzgün hızlanan bir hareketle çekilmektedir. İlk hızı (0), son hızı ise 4m/s'dir bu hıza 2 saniyelik bir zamanda ulaşmaktadır. Çeki oku tarım arabasının simetri eksenindedir. İki tekerlek birlikte bir silindir şeklinde varsayılmaktadır (Kara, 1974). Düzlemsel hareket genel denkleminde, silindir merkezine göre moment; Şekil 1'e göre,

$$\Sigma M = Ph + \mu Nr = 1/2(W/g)r^2\alpha \quad (4)$$

eşitliğinden tarım arabası çekme kuvveti hesaplanmaktadır. Burada; P : Çeki kuvveti (N), h: Silindir merkezine, çeki kuvveti eksenine dik mesafesi (m),  $\mu$  : Silindir ile yer düzlemi arasında sürtünme katsayısı (0.2), N: Reaksiyon kuvveti ( $R_2$ ), r: Silindir yarı çapı (m), W: Reaksiyon kuvveti ( $R_2$ ), g: Yerçekimi ivmesi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ),  $\alpha$  : Silindir açılma ivmesi ( $\text{rad/s}^2$ )'dir. Çeki kuvveti(P), eşitlik 4 den 7804.70 N olarak belirlenmiştir.

Silindir merkezine göre açısal ivme;

$$\alpha = a_x / r \quad (\text{rad/s}^2) \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada;  $a_x$ : Silindir merkezine çekme yönünde ivmesi ( $\text{m/s}^2$ ), r: Silindir yarıçapı (m)..Silindir merkezine çekme yönünde ivmesi;

$$V = V_0 \pm a_x \cdot t \quad (6)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır Burada; V: Son hız (m/s),  $V_0$ : İlk hız (m/s), t: Son hıza ulaşma zamanı (s)'dir. Şekil 1'de ( $R_2$ ) noktasına göre moment alınarak;

$$\Sigma MR_2 = 0; -V_1 \cdot 3290 + G \cdot 700 = 0 \quad (7)$$

eşitliğinden kesme kuvveti ( $V_1$ ), hesaplanmaktadır. Burada;  $V_1$ :Kesme kuvveti(7446.80 N), G:Homojen yük ile dolu kasa ağırlığı(35000 N)'dir. Çeki halkası 'B'noktası ,dikdörtgen kesitinde kesme gerilmesi;

$$\tau = 3 F / 2 A \quad (\text{N/mm}^2) \quad (8)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır (Shigley, 1963). Burada; F: Kesme kuvveti, $V_1$ 'değeri kullanılmaktadır

(N), A: 'B'noktası dikdörtgen kesit alanı ( $\text{mm}^2$ ). Burada kesit alanı ( $40 \times 100$ )  $\text{mm}^2$ 'dir. Hesaplama ( $1 \times 40$ )  $\text{mm}^2$ , düğüm alanı olarak toplam alanın 1/100 'i alınmaktadır. 'B' noktası dikdörtgen kesitinde eşdeğer gerilme;

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + (a\tau)^2} \leq \sigma_{zul} \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada;  $\sigma$ : Normal gerilme ( $10$ 'nolu düğümde çekme gerilmesi ' $\sigma_v$ ') ( $\text{N/mm}^2$ ), a: Güvenlik katsayısı (1.5), (Harzadın, 1969),  $\tau$ : Kesme gerilmesi ( $\text{N/mm}^2$ )  $\sigma_{zul}$ : İzin verilen emniyet gerilmesi( $\text{N/mm}^2$ ).

Çeki halkası 'B'noktası ve kritik duvar kesitlerine ilişkin eşdeğer gerilme;

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}} \leq \sigma_{zul} \quad (10)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır (İnan,1988). Burada;  $\sigma_x$ : 'x' yönünde normal gerilme ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\sigma_y$ : 'y' yönünde normal gerilme ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\tau_{xy}$ : 'xy' açılma yönde kesme gerilmesi ( $\text{N/mm}^2$ ),  $\sigma_{zul}$ : İzin verilen emniyet gerilmesidir ( $\text{N/mm}^2$ ).

### Sonlu elemanlar yöntemi ile normal ve kesme gerilmelerinin belirlenmesi

Normal gerilmeler 'ANSY'bilgisayar programında belirlenmiştir. 'ANSY' programı modelleme, çözümlenme ve çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi olarak üç ayrı modülde gerçekleştirilmektedir. Programda ilk olarak, çeki halkasının modeli oluşturulmuş, daha sonra malzeme özellikleri, sınır koşulları ve halka deliğinde çeki kuvveti dağılımına göre program çıktısı alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir (Fetvacı, 1997).

### Çeki halkasının sonlu eleman modeli

Çeki halkasının kalınlık boyunca geometrisi değişmediğinden, birim kalınlıkta bulunan yüzeyde 'x' ve 'y' olarak iki boyutlu bir gerilme analizi yapılmıştır. Yüzey, geometrik şekli ve dış kuvvetlere göre simetrik olması nedeniyle, bütünü karakterize eden  $1/2$  formunda modellenmiş ve 'x- y' eksenleri esas olmak üzere 4 düğüm noktalı eşparametrik dörtgen elemanlara ayrılmıştır. Modelde toplam 5 eleman ve 12 düğüm noktası bulunmaktadır.

### Malzeme özellikleri

Çeki halkası malzemesi St 42 yapı çeliğidir ve isotropik yapıdadır. Elastikiyet modülü,  $E=2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$  ve Poisson sabiti,  $\nu=0.3$ 'dür (Nath 1974, Arslan ve Kaman 2001).

### Sınır koşulları

Şekil 2'ye göre modelin 'x' eksenindeki düğüm noktalarına, sınır koşulu uygulanmıştır. Model (a) 'da çeki halkası sabitleme pimi, delik içerisinde

çeki yönündeki yarım daire yüzeyine basınç yapmaktadır ve kuvvet dağılımı her iki yanda minimum, 90 derece açıda ise maksimum değerde olacak şekilde değişmektedir.

### Çeki halkası basınç kuvvetlerinin belirlenmesi

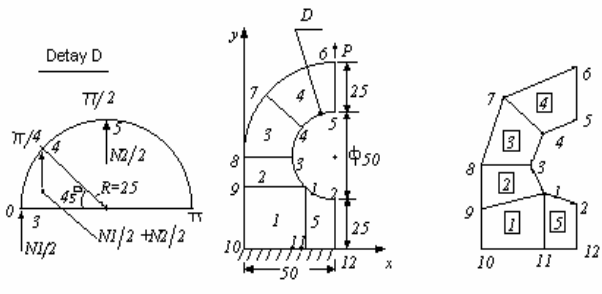
Şekil 2 a'ya göre; çeki halkası delik yüzeyindeki 3, 4 ve 5 nolu düğümlere gelen kuvvet dağılımı, merkezi iç yüke göre belirlenmektedir.

### Çeki halkası basınç kuvvetlerinin belirlenmesi

Şekil 2 a'ya göre; çeki halkası delik yüzeyindeki 3, 4 ve 5 nolu düğümlere gelen kuvvet dağılımı, merkezi iç yüke göre belirlenmektedir. Delik çevresinde merkezi iç yük;

$$P = q_0 c R \int_0^{\pi} \sin^2 \theta d\theta = q_0 c R \left[ \frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right]_0^{\pi} \quad (11)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada; P: Çeki kuvveti (N),  $q_0$ : Delik çevresinde merkezi iç yük (N/mm), c: Çeki halkası kalınlığı (mm), R: Delik yarıçapı (mm),  $\theta$ : Yatay eksene göre delik merkez açısı ( $^\circ$ )'dir. Gerilme analizi, birim kalınlıklı halka yüzeyinde yapıldığı için eşitlik 11'de halka kalınlığı (c), hesaba katılmamıştır.



**Şekil 2.** Çeki halkası yüzeyi sonlu eleman modeli(a), 'ANSYS'program'ın tanıdığı sonlu eleman modeli (b).

Şekil 2, detay D'ye göre;çekme doğrultusunda düğümlere gelen N1 ve N2 kuvvetleri;

$$N1 = q_0 c R \int_0^{\pi/4} \sin^2 \theta d\theta = q_0 c R \left[ \frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right]_0^{\pi/4}$$

$$N2 = q_0 c R \int_{\pi/4}^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta = q_0 c R \left[ \frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right]_{\pi/4}^{\pi/2}$$

eşitliklerinden hesaplanmaktadır (Gökmen, 1979). Her iki eşitlikte halka kalınlığı (c), hesaba katılmamıştır. Detay D'ye göre 3 ve 4 nolu düğümler

arası hesaplama sonucu, her bir düğüme düşen düşey kuvvet, (N1) kuvvetinin yarısı olmaktadır. Aynı şekilde, 4 ve 5 nolu düğümler arası hesaplama sonucu,her bir düğüme düşen düşey kuvvet, (N2) kuvvetinin yarısı olmaktadır (İnan, 1988). Normal gerilmelerin belirlenmesi amacıyla, dış kuvvetler olarak ANSYS programına yalnız 3, 4 ve 5 nolu düğümlere düşen düşey kuvvetler girilmektedir.

**Çizelge 1.** Çeki halkası yüzeyinde düğüm noktalarının belirlenen kuvvetlere ilişkin yer değiştirmeleri ve gerilmeler

Düğüm No.	Yer değiştirmeler (mm)		Gerilmeler (N/mm <sup>2</sup> )		
	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	σ <sub>x</sub>	σ <sub>y</sub>	T <sub>xy</sub>
1	0.0100	0.0093	-38.11	116.56	7.34
2	0	0.0017	-85.30	-22.74	5.35
3	0.0208	0.0350	38.22	277.11	41.78
4	0.0118	0.0721	-5.88	121.49	60.74
5	0	0.0918	-62.49	-52.87	44.87
6	0	0.0912	88.06	-20.03	103.74
7	-0.0097	0.0424	49.47	1.57	37.94
8	0.0275	0.0252	6.71	4.50	13.73
9	0.0145	0.0219	-22.85	103.96	27.90
10	0.0052	0	-8.83	174.29	10.27
11	-0.0022	0	-0.36	53.75	-2.07
12	0	0	21.51	-18.06	-16.73

### Gerilme analizi sonuçları ve tartışma

Sonlu Elemanlar Yöntemine göre elde edilen sonuçlar çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de verilen değerler çeki halka yüzeyinde bir milimetre kalınlık ölçüsüne göredir, gerçek değerler 40 mm çeki halkası kalınlığına bölünerek bulunmaktadır. Şekil 2'ye göre çekme doğrultusunda dik yöndeki çeki halkası merkezine rastlayan delik duvar üzerinde '3'nolu düğüm noktası kritik nokta olarak değerlendirilmiştir. '3' ve '10' nolu düğümlerin eş gerilmeleri sırasıyla 5.89 N/mm<sup>2</sup> ve 3.52 N/mm<sup>2</sup> olarak eşitlik 10'dan hesaplanmıştır. '10' nolu düğüme ait eşdeğer gerilme ayrıca eşitlik 9'dan hesaplanmaktadır. Eşitlik 9'dan '10' nolu düğümün kesme gerilmesi (τ), 0.0279 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Kesme gerilmesine ilişkin eşitlik 8'de, düğüm alanı, toplam alanın 1/100'i olarak, (1x40) mm<sup>2</sup>'dir. Eşitlik 9'a göre, '10'nolu düğümün eşdeğer gerilmesi 4.35 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Çeki halkasının '3' ve '10'nolu düğümleri karşılaştırıldığında, '3' nolu düğümün eşdeğer gerilme değeri daha yüksektir. Kritik kesitte yer alan '3'nolu düğüm noktasının eşdeğer gerilme değeri, dinamik koşullar için kullanılan 70 N/mm<sup>2</sup> emniyet gerilmesi (σ<sub>zul</sub>) değerinden (Shigley, 1963), çok daha düşük değerde, emniyetli olarak

belirlenmiştir. Tarım arabasının çekme doğrultusunda ivmesinin daha da artırılması koşulunda, çeki kuvveti artacak ve çeki halkası kritik kesitinde gerilmelerde bu kuvvete bağlı olarak artacaktır Böyle bir artışa rağmen emniyetli gerilme değeri ile kritik kesitte eşgerilme farkı oldukça büyüktür. Emniyet gerilmesi esas alındığında, çeki halkası kalınlık ölçüsünün düşürülmesi mümkün görülmektedir. Çeki halkası, St 42 çelik malzemesi yerine, dinamik çalışma koşulları için daha elastik ve sünek bir malzeme durumunda bulunan, St 37 çelik malzemesi kullanılmasıyla kalınlık ölçüsünün daha kolay düşürülmesi mümkündür.

### Kaynaklar

[1]Anonim, 1998. 3.5 Tonluk Bir Dingilli Ahşap Kasa Arkaya Devirmeli Tarım Arabası U.Ü. Ziraat Fakültesi deneme raporu. Bursa.

[2]Arslan, N., Kaman, M.O, 2001. Yük kancasının Elasto-Plastik davranışı.Mühendis ve Makidergisi Cilt 42, Sayı:502, Ankara.

[3]Fetvacı, M.C., 1997. Sonlu Elemanlar Metodu ile Modelleme. Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:38, Sayı: 455, Ankara.

[4]Fetvacı, M.C., 2002. Sonlu Elemanlar Metodu ile Gerilme Analizi: Kalın cidarlı silindirik borulara uygulama. Mühendis ve Makine dergisi, Cilt:43, Sayı: 508, Ankara.

[5]Gökmen, G 1979. Teori ve Problemlerle Diferansiyel ve İntegral Hesap, Güven kitabevi Yayınları Ankara,1979.

[6]Harzadın, G.,S. Yurdakonar, 1969. Makine Elemanları Cilt.1, İstanbul.

[7]İnan, M., 1988 Cisimlerin Mukavemeti İ.T.Ü. Yayınları. İstanbul.

[8]Kara,A.S., 1974 Çözümlü Mühendislik Mekaniği Problemleri, Güven Kitabevi, Ankara.

[9]Nath, B., 1974 Fundamentals of Finite Elements for Engineers, The Athlone Press of the University of London.

[10]Shigley, J.E., 1963 Mechanical Engineering Design, Mc Graw-Hill Book Company, Inc- New York.

### **İletişim adresi :**

Öğr.Gör.Dr. Muharrem ZEYTİNOĞLU  
Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları  
Bölümü, Görükle kampusü 16059 Bursa  
Tel: 0-224-294 1606 Fax:0-224-294 1402  
e-posta : mzeytin@uludag.edu.tr