



# KARDAN KAPLINLERİNDE HASARA ETKİ EDEN FAKTÖRLER VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

**Mehmet UÇAR**

Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Göztepe/İstanbul

Geliş Tarihi : 24.09.1999

## ÖZET

Bu çalışmada kardan kaplinlerinde imalattan ve yanlış kullanılmadan dolayı işletme esnasında oluşabilecek muhtemel hasarlar ele alınmıştır. Çalışma şartları belli olan kardan kaplinlerinde oluşan hasarlar incelenerek hasara etki eden sebepler ve faktörler araştırılmıştır. Alınan numuneler incelenerek yapılan araştırmalar sonunda elemanın belirlenen ömründen önce hasara uğramaması için sistemin aşırı yüklenmemesi, izafi hareketli bölgelerde yağlamanın tam olması, kullanılan yağın düşük ve yüksek sıcaklıklarda(- 30 °C, 120 °C) özelliğini kaybetmemesi, istavroz muylusu ile iğneli yatağın darbeli yüklere ve yüzey aşınmasına karşı mukavim olması, çatal ile ara milinin bağlandığı kısımda kaynaktan oluşan iç gerilmelerin giderilmesi ve kaplinin statik ve dinamik olarak dengelenmesi gerektiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler :** Kardan mafsalı, İstavroz muylusu, Çatal

## FACTORS EFFECTTING ON FAILURE AT CARDAN COUPLINGS AND PRECAUTIONS WHICH MUST BE TAKEN

### ABSTRACT

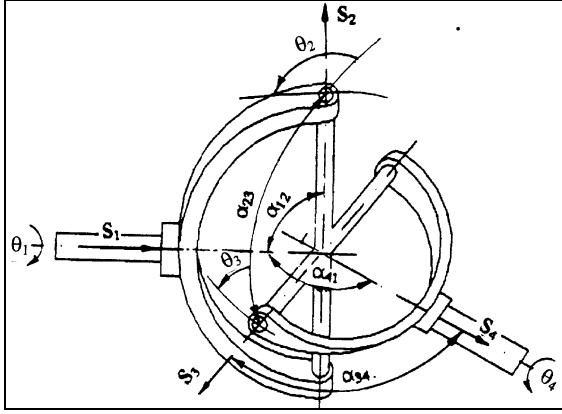
In this study, failures caused by bad usage during operation and by manufacturing are examined. Failures occurred on cardan coupling are analyzed by using of photographs which have been taken. As not to be occurred any failures on cardan coupling before its usage life, it has been seen that system must not be over loaded, exact oiling in areas which have relative motion must be used, oil used must have high performance at both low and high temperature (- 30°C, 120°C), cross pin and needle bearing must have high strength against to wear and shock loads, internal strength on the areas which have been connected by welding must be decreased and coupling must be balanced as statically and dynamic.

**Key Words :** Cardan joint, Cross pin, Yoke

### 1. GİRİŞ

Prensip olarak kardan kaplinleri, hareket ve moment iletmek amacıyla kullanılan millere kardan mafsalının uygun konstrüksiyonu şartlarında bağlanmasıyla oluşturulur. Kardan mafsalı, mekanizma olarak karşılıklı iki U çatalından ve bunları  $\pi/2$  açısı ile birleştiren eksenleri birbirine dik dört çubuk (istavroz)'dan meydana gelmektedir. Kardan mafsalı çalışma prensibi bakımından;

genellikle eksenleri arasında açı bulunan ve/veya eksenleri birbirinden kaçık konumdaki miller vasıtası ile hareket ve moment iletmek amacıyla konstrüksiyonu yapılmış Şekil 1'de görüldüğü gibi tipik küresel dört çubuk mekanizmasıdır. Günümüzde oldukça geniş kullanım alanına sahip olan kardan kaplinleri çok yönden incelenmiş ve geliştirilmiştir. Tahrik eden ve tahrik edilen iki sistem arasında yer alan kardan kaplinleri birden çok sayıda kardan mafsalına sahip olabilirler.



Şekil 1. Tipik kardan mafsalı

Ayrıca iletimin yapılacağı iki sistemin eksenleri arasında değişmelerin olabileceği göz önüne alınarak iki mafsal arasındaki ara milinin üzerine bir kayar mafsal konulur.

Bu tanımlamadan görüldüğü gibi kardan kaplinleri çok sayıda hareketli uzva sahip olup bu uzuvlar hareket ve moment iletimi esnasında karmaşık kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadır. Buna göre kardan kaplininin konstrüktif özelliğine bakıldığında üç temel hasarın oluşabileceği ortaya çıkmaktadır. Bunlar, aşırı yüklemekten oluşabilecek hasarlar, sistemin yapısından kaynaklanan hasarlar ve yüzey aşınmasından dolayı oluşan hasarlardır.

## 2. İLETİLEN HAREKET VE MOMENTE BAĞLI OLARAK KARDAN KAPLINİ ÜZERİNE ETKİYEN KUVVETLER

Kardan kaplin elemanlarına etkiyen kuvvetleri iletilen momente bağlı olarak ifade edebiliriz. Mafsala bağlı tahrik eden ve tahrik edilen miller arasında  $\alpha$  kadar bir sapma açısı olduğu göz önüne alınırsa giriş ve çıkış millerinin açısal hızları arasındaki oran;

$$\frac{\omega_{\zeta}}{\omega_g} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2 \theta_g \sin^2 \alpha} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir (Shigley ve Mischke, 1986). Buna göre sürtünmeler ihmal edilip enerji dengesi

$$M_g \omega_g = M_{\zeta} \omega_{\zeta} \quad (2)$$

eşitliği ile yazılıp, (1) ve (2) den çıkış momenti ;

$$M_{\zeta} = M_g \frac{1 - \sin^2 \theta_g \sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \quad (3)$$

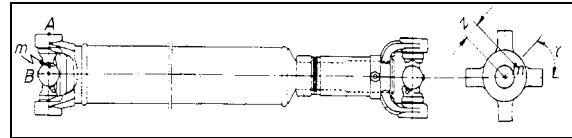
olarak ifade edilir. (3) eşitliğine göre kardan mafsalı sabit bir giriş momenti olmasına rağmen  $\alpha$  mafsal açısının etkisinden (sistemin kinematik yapısından) dolayı çıkış momenti  $\theta_g$  açısının 0 ve  $\pi/2$  değerleri için,  $M_g / \cos \alpha$ 'da azami,  $M_g \cos \alpha$ 'da ise asgari değerlerde olmaktadır. Çıkış milinin açısal hızının değişimine bağlı olarak çıkış miline bağlı kütlelerin  $M_{\zeta}$  momentinin etkisi altında titreşim yapacağı görülmektedir (İleri, 1959).  $M_{\zeta}$  momentinin  $M_{\zeta 1}$  kadarı çıkış miline bağlı sisteme harcanırken  $M_{\zeta 2}$  kadarı ise çıkış miline bağlı kütlelerin titreşimine harcanacaktır. Çıkış miline bağlı kütlelerin atalet moment J ise;

$$M_{\zeta 2} = \frac{d\omega_{\zeta}}{dt} \quad (4)$$

olarak ifade edilebilir. Yukarıdaki (1), (3) ve (4) eşitlikleri incelendiğinde kardan kaplinlerinde oluşacak kuvvet ve momentler genel olarak şöyle listelenebilir.

- Kaplin ara milinde iletilen momente bağlı olarak burulma gerilmesi meydana gelir.
- Ara mili üzerindeki kayar mafsalı dışlarında yüzey basıncı oluşur.
- İstavroz üzerinde eğilme ve kayma gerilmeleri oluşur.
- Çatallarda eğilme ve kayma gerilmeleri oluşur.
- Çatal ile istavroz muyluları arasında bulunan yataklarda (iğneli veya kaymalı) ise radyal kuvvetler oluşur.

Burada sıralanan etkiler genel ifadeler olup sistem elemanları üzerindeki kuvvet ve moment dağılımı daha detaylı incelendiğinde istavroz muylusu ile çatal arasındaki yatak ekseninde eksenel kuvvetlerinde var olduğu görülmektedir (Fischer ve Waal, 1995). Kardan mafsalı ile ara milinin bağlantısı yapılırken kütlelerin ağırlık merkezi ile sistemin ağırlık merkezinin aynı eksen üzerinde olmaması yani Şekil 2'de görüldüğü gibi bu iki eksen arasında z kadar bir farkın olması durumunda çataldaki iğneli yatak eksenine merkezkaç kuvvetinden dolayı ek bir kuvvet etki edecektir. Bu kuvvetleri basit olarak şöyle ifade edebiliriz.



Şekil 2. Kardan kaplini ara mili kütlelerinin mil ekseninden z kadar kaçık olması halinin şematik gösterimi

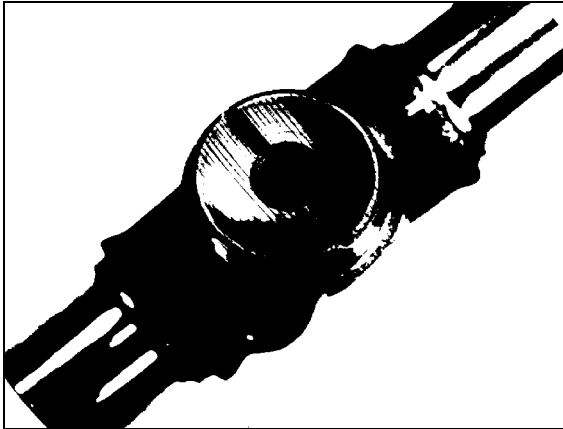
A muylusunun çataldaki yatak eksenine uyguladığı kuvvete  $F_a$  dersek;

$$F_a = m \omega^2 z \sin \gamma \quad (5)$$

B muylusunun çataldaki yatak eksenine uyguladığı kuvvete  $F_b$  dersek;

$$F_b = m \omega^2 z \cos \gamma \quad (6)$$

Burada  $m$  sistemin eksenden kaçık olan kütle miktarı,  $\omega$  kaplin açılma hızı,  $z$  eksenler arası fark ve  $\gamma$  ise kaçık eksenin istavroz merkezine göre  $x$  eksenine yaptığı açı miktarıdır. Yukarıda tanımlanan (5) ve (6) ifadeleri tek bir mafsal içindir. Diğer mafsalarda içinde aynı metot uygulanabilir. Şekil 3'de yukarıda bahsedilen yatak eksenini doğrultusundaki eksenel kuvvetten dolayı istavroz muylusunun alın kısmında oluşan yüzey aşınması görülmektedir. Burada ikinci bir özel durum da muylu alın yüzeyinin yatak alın yüzeyine üniform olarak temas etmemiş olmasıdır.



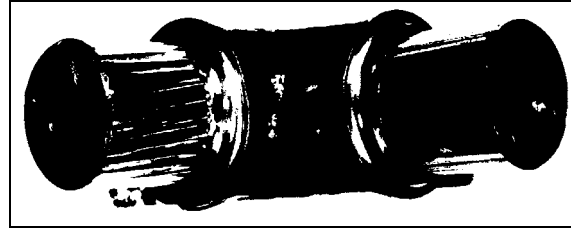
Şekil 3. İstavroz muylusu ile iğneli yatak alın yüzeyleri arasındaki kuvvetten dolayı oluşan yüzey aşınması

Ayrıca mafsala bağlı giriş çıkış millerinde özellikle mafsalın imaltından dolayı oluşacak hataların etkisinden dolayı eksenel kaymalar söz konusudur (Uçar ve ark., 1996).

### 3. AŞIRI YÜKLEMEDEN OLUŞABİLECEK HASARLAR

Aşırı yükleme, sistemde iletilmek istenen momentin kaplin uzuvlarının emniyetli moment sınırını aşması durumundaki yükleme durumlarıdır. Bu da genellikle ani yüklemelerden kaynaklanmaktadır. Bir iş makinesinin veya karayolları taşıtının ani olarak hareketinin ters yönünde harekete geçirilmesi,

örneğin; geri hareket eden bir yük taşıtının ileri hareket edecek biçimde tahrik edilmesi gibi. Bu durum makinenin diğer bütün elemanlarının aşırı yüklenmesinin yanı sıra moment iletiminde kullanılan kardan kaplininde de aşırı yükleme oluşturacaktır. Burada aşırı yüklemenin değeri sistemin kütlesi ve ivmelenme değeri ile belirlenir. Kardan kaplinlerinde aşırı yükleme ile burulma zorlanmasından dolayı; ara milinde kayma gerilmesi, yine ara mili üzerindeki kayar mafsalın dişlerinde yüzey basıncı ve kırılmalar, istavroz muylusu ile çatalın bağlandığı yatakta aşırı basınçtan dolayı yüzey tahribatı ve kırılmalar oluşacaktır. Şekil 4'de istavroz muylusunda aşırı yüklemeye maruz kalan yüzey deformasyonu görülmektedir. Buradaki hasarın ana sebebi aşırı yüzey basıncının oluşması ve yatak içindeki yuvarlanma elemanlarının kırılmasıdır. Şekil 4'de görülen yüzey deformasyonunun istavroz muylusu eksenini doğrultusunda olmamasının sebebi ağırlıklı olarak yuvarlanma elemanlarının kırılmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum sistemin de montajında görülmüştür.



Şekil 4. Aşırı yükleme ve yatak içerisindeki yuvarlanma elemanının kırılması sonucu istavroz muylusunda oluşan yüzey deformasyonu

Ayrıca sistemin diğer bütün elemanlarında da yapısal hasarlar oluşabilir. Bu tür hasarların oluşmasını engellemek için konstrüksiyonun yapılması aşamasında elemanlar, fonksiyonları ve uğrayabileceği hasarlar dikkate alınarak şekillendirilmeli bu esnada yapılabirlikte gözden uzak tutulmamalıdır.

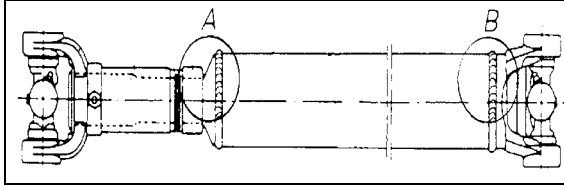
### 4. YAPISAL YORULMA HASARLARI

Yorulma hasarları, kapline yapılan yüklemeye maruz kalan burulma gerilmesi genliklerinin, kaplinin burulma mukavemeti değerinden düşük seviyede olması ancak uzun süre devam etmesi durumunda ortaya çıkar. Bu durum kaplinin bütün elemanları üzerinde meydana gelebilir. Bilindiği gibi yorulma hasarları yorulma çatlaklarından başlar (Güleç ve Aran, 1983). Çatlakların ilerlemesi sonucu zorlanan alan burulma zorlanmasından dolayı oluşan gerçek gerilme alanına düşene kadar tespit edilemeyebilir. Ancak bu noktaya gelindiğinde kaplin elemanları

yüklemeye karşı mukavemet gösteremeyip hasar oluşacak veya kırılacaktır. Diğer yandan özellikle ara milleri, test zamanları kısa olması için laboratuvarlarda yüksek gerilmeli olarak test edildiklerinden dolayı yorulma hasarları aşırı burulma yüklemesinin bir sonucu olarak da görülebilir (Johnson, 1979). Çünkü aşırı yüklemeye yorulma çatlaklarına neden olacaktır.

#### 4. 1. Burulma Yorulması

Kardan mafsallarında, ara milinin konstrüktif yapısı ve kayma elastiklik değeri  $G(N/m^2)$ 'ne bağlı olarak elastik deformasyonu ile (deformasyon miktarı elastisite sınırını aşmadan) aşırı darbeli yüklemeler bir miktar sönmülenebilir. Ancak kardan kaplinlerinde burulma yorulmasının, moment iletiminden dolayı ağırlıklı olarak ara mili üzerinde ve Şekil 5'de A ve B bölgeleri olarak gösterilen ara mili ile çatalın kaynaklı birleştirme yapıldığı bölgede oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5. İki kardan mafsallı kaplin üzerindeki kritik kuvvet geçiş bölgeleri

Çünkü kaplin üzerinde burulma zorlanmasına maruz kalan bölgeler buralardır. Ayrıca istavroz ve çatal kulaklarında moment iletiminden dolayı eğilmeler olup (Fischer ve Freudenstein, 1985), bu kısımlarda eğilme yorulmaları da söz konusu olabilir. Ancak burada burulma zorlanmaları daha büyük önem arz eder. Şekil 5'de görüldüğü gibi mafsal çatalı ile ara mili (B bölgesi) ve ara mili ile kayar mafsal mili (A bölgesi ve Şekil 6'da C bölgesi) arasında kaynaklı birleştirme yapılır. Bu kaynaklı birleştirmede; tam nüfuziyetin sağlanamaması, oluşacak artık gerilmeler, malzeme farklılıkları ve sertlik değerlerinin kaynaktan dolayı değişmesi söz konusudur. Kaplinin dinamik davranışı göz önünde bulundurulduğu zaman yorulma çatlaklarının oluşması veya imalattan dolayı oluşan çatlakların ilerlemesi yorulma hasarının oluşabileceğini açıkça göstermektedir. Bu durum için mafsal çatalı ile ara milinin kaynaklı birleştirmesinde ön ısıtma (tavlama) yapılmalı, kaynaktan sonra kaynak filmi çekilerek kaynağın nüfuziyeti incelenmeli, oluşacak artık gerilmeleri giderici (tavlama vb.) tedbirler alınmalı, mafsal çatalı ile ara mili ve kaynak dolgu (elektrot) malzemeleri aynı özellikte seçilmeli ve mümkün

olduğunca homojen bir kaynak dağılımı sağlanmalıdır.

Burulma zorlanması halinde bir diğer kritik bölge ise Şekil 5'de görüldüğü gibi ara mili üzerindeki kayar mafsala ait elemanlar ve bu elemanların ara mili ile bağlantı noktasındaki (A bölgesi) kuvvet geçiş bölgeleridir.

Diğer bir kritik bölge ise Şekil 6'da görüldüğü gibi özellikle kamyonlarda kullanılan üç mafsallı kaplinde ara mafsalın dengede tutulması için şasiye bağlandığı yatak kısmıdır.



Şekil 6. Bir tarafı yataklı tek mafsallı kardan kaplin

## 5. STATİK HASAR

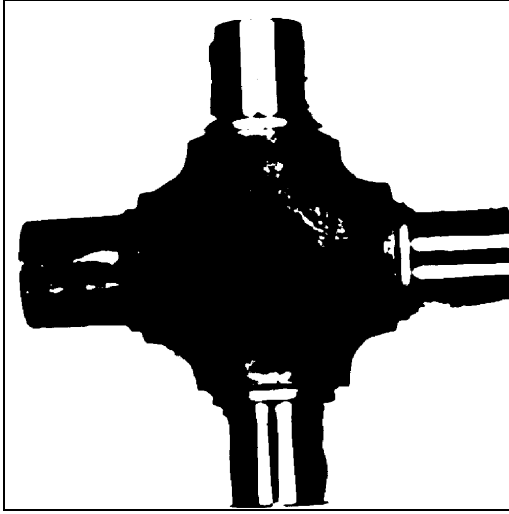
Fischer ve Freudenstein'nın yapmış olduğu çalışmaya bakıldığında (Fischer ve Freudenstein, 1985). Kardan mafsalı ile moment iletiminde gerilme yığılmalarının çatal ile istavrozun bağlantı bölgesinde olduğu görülmektedir. Dolayısı ile bu bölgede kırılma çatlaklarının daha hızlı ilerlemesi veya statik yüklemeye durumu için kayma gerilmelerinin azami değerlerde olacağı aşıkardır. Burada gerilme yığılmalarını önlemek için malzeme miktarını artırmak sistemin konstrüktif yapısından dolayı sınırlı olduğundan, malzemenin mekanik özelliğinde değişiklik yapmak daha uygundur.

Mafsal elemanları arasında moment aktarmadan dolayı oluşan kayma sürtünmeleri ve ara mili üzerindeki kayar mafsalın dişleri üzerindeki sürtünmeler mevcuttur. Özellikle ara mili üzerindeki kayar mafsalın dişleri üzerine dağılmış olan kuvvetlerin oluşturacağı hasarın yanı sıra, dişler üzerindeki sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü de göz önüne alınmalıdır. Bu kuvvetler, örneğin bir kamyonun hız kutusu ile diferansiyeli arasındaki mesafenin değişmesi sırasında bu iki birime aksenal kuvvet olarak etkiyecektir. Tabii ki burada mafsal açısı ( $\alpha$ ) bu kuvvetin şiddetini  $\cos\alpha F_f$  olarak

etkileyecektir. Sürtünmeden dolayı oluşan bu eksenel kuvveti azaltmak için ara mili üzerindeki kayar mafsalsın çok iyi yağlanması ve sürtünen yüzeylerin titreşim ve darbeye mukavim kaplama ile kaplanması daha uygundur.

## 6. YÜZEY AŞINMASI

Yüzey aşınması, birbirine temasta olan ve aralarında izafi hareket bulunan iki yüzeydeki aşınma durumudur. Kardan kaplinlerinde yüzey aşınması, istavroz muylusu ile yuvarlanmalı (iğneli) yatak arasında, yine istavroz muylusu ile yatak arasındaki yağın sızmasını önleyen sızdırmazlık elemanının izafi hareketli yüzeyinde ve ara mili üzerindeki kayar mafsalsın iç ve dış dişleri yüzeyinde oluşur. Dolayısı ile yüzey aşınması; sürtünen yüzeyler arasındaki hareket direncinin artmasına, yüksek sıcaklık oluşmasına ve titreşimlere sebep olabilir. Şekil 7'de görüldüğü gibi iğneli yatak ile muylu arasında yeterli yağlamanın olmaması sebebiyle yüksek sıcaklık oluşmuş ve muylu yüzeyinde yanma oluşmuş, diğer bir deyimle malzeme özelliğini kaybetmiştir.



Şekil 7. Yetersiz yağlamadan dolayı istavroz muylusu ile yatak arasında yüksek sıcaklık oluşumu ve yüzey yanması

Yüzey aşınması, yetersiz yağlamanın bir fonksiyonu olarak görülebilir. Ayrıca yatak malzemelerinin sertliği (58-65 HRC)'de yüzey aşınmasının bir fonksiyonu olup burada pitting, brinelling ve spalling aşınmaları işletme gerilmesinin fonksiyonu olarak ortaya çıkabilir (Johnson, 1979).

Buna göre kullanılan malzemeler, yüzeyler arası izafi hareket (yuvarlanma, kayma) ve sıcaklık artışı göz önüne alınarak seçilmelidir. İstavroz muylusu ile yatak arasındaki sürtünmeden oluşan ısı,

sızdırmazlık elemanının ısı mukavemet değerinin (asgari -30 °C, azami 120 °C) üzerine çıkması sonucu sızdırmazlık elemanında hasar oluşturur. Bu durum yağlamayı olumsuz etkileyip ayrıca yatak boşluğuna dışarıdan toz, ve su gibi istenmeyen maddelerin girmesine engel olamayıp, abraziv ve korozif aşınmaya sebep olacaktır.

## 7. ÇALIŞMA ORTAMI VE DIŞ ETKENLER

Kardan mafsalsının ömrüne olumsuz yönde etki eden diğer etkenler; çalışma ortamı, toz, ısınma ve diğer çevre etkileridir. Bu faktörlerin hepsi, istavroz ile çatal bağlantısında kullanılan iğneli yatak ve ara mili üzerindeki kayar mafsalsın temaslı olan yüzeylerini yağlamak amacıyla kullanılan yağın muhafaza edilmesi ve bu bölgelerin dış etkenlerden korunmasını sağlayan sızdırmazlık elemanlarının (keçeler) aşınmaya karşı performansına bağlıdır. İzafi hareketten dolayı yüzey sürtünmesinden oluşan ısının atmosfere taşınmaması veya iletilmemesi durumunda artacak olan sıcaklık değerinin sistem için öngörülen sıcaklık değerini aşması durumunda sızdırmazlık elemanının bozulmasına sebep olacaktır. Ayrıca yatak içerisinde yağın film oluşturma kabiliyetini düşürecektir.

Sızdırmazlık elemanının performansı, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliğine bağlıdır. Sızdırmazlık elemanı malzemesi ile kullanılan yağın kimyasal olarak uyumlu olması gereklidir. Sızdırmazlık elemanı dış ortamlardan gelebilecek abraziv (toz, partikül vb.) ve koroziv (su, nem vb.) aşındırıcıları engellemeli ayrıca kendisi de bu etkenlere karşı mukavim olmalıdır.

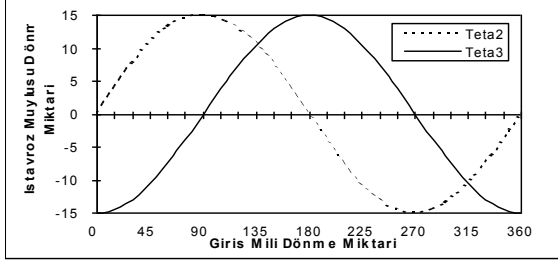
Yağlamada olabilecek aksaklıklar ise;

- Yatak sıcaklığının yağlama yağının çalışma değerinden fazla olması durumunda yağın film oluşturma kabiliyeti düşebilir. Ayrıca sızdırmazlık elemanının sızdırmazlık özelliği azalır.
- Sistemin kinematik özelliğinden dolayı tam olarak hidrodinamik yağlama oluşmamaktadır. Bu durum istavroz muylusu ile çatal arasındaki izafi hareketin özelliğinden oluşmaktadır. Mafsalsın giriş çatalı ile istavroz muylusu arasındaki harekete  $\theta_2$ , çıkış çatalı ile istavroz arasındaki harekete ise  $\theta_3$  dersek ve bunlar giriş mili dönme miktarı ve mafsalsın açısına bağlı olarak şöyle ifade edilir (Uçar ve ark., 1996).

$$\theta_2 = \cos^{-1}(\cos(\arctan(\tan\theta_1 \cos\alpha)) \sin\alpha) \quad (7)$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \frac{\sin \theta_1}{\cos(\alpha \tan(\tan \theta_1 \cos \alpha))} \quad (8)$$

Şekil 8’de mafsals açısı  $\alpha = 15^\circ$  ( $165^\circ$ ) için ve  $\theta_1$ ’in  $360^\circ$ ’lik dönmesinde  $\theta_2$  ve  $\theta_3$  değerleri görülmektedir.



Şekil 8. Mafsals açısı  $\alpha = 15^\circ$  için istavroz ile çatal arasındaki  $\theta_2$  ve  $\theta_3$  değerleri.

Şekil 8’de görüldüğü gibi istavroz mıylusunun çataldaki yatak içerisindeki hareketi tam dönme olmayıp salınım hareketi şeklindedir. Bu nedenle bu tür yataklarda etkin bir şekilde hidrodinamik yağlama gerçekleşmemektedir. Diğer yandan kardan mafsallarında yağlama performansı, yağın fiziksel özelliklerine ve sıcaklığa karşı yağlama özelliğini koruma kapasitesine de doğrudan bağlıdır. Bu nedenle kullanılan gres yağının çok düşük ve yüksek sıcaklıklarda ( $-30^\circ\text{C} \dots 130^\circ\text{C}$ ) film oluşturma kabiliyetini kaybetmeyecek özellikte seçilmesi gereklidir.

## 8. SONUÇLAR

Kardan kaplinlerinin sistematik ve konstrüktif yapısına hasar analizi gözüyle bakıldığında elemanın öncelikle izafi hareketli uzuvlarında hasarın oluştuğu görülmektedir. Bunun ana sebebi ise tam teşekküllü yağlamanın yapılamaması, özellikle taşıtlarda ve iş makinalarında aşırı zorlanmalardan dolayı yüzey basıncı ve deformasyonunun oluşmasıdır. Bu tür sebeplerden oluşabilecek hasarların engellenmesi için uygun yağ seçimi, çalışma zamanına ve çalışma ortamına bağlı olarak sürekli bakımın yapılması gereklidir. Ayrıca kullanılan gres yağının bölgede kalması ve miktarının ayarlanması da önemlidir. Bunun için sızdırmazlık elemanı da uzun ömürlü ve görevini tam yapacak özellikte olmalıdır.

Diğer yandan sistemin kinematik özelliğinden dolayı moment iletimi esnasında sistem genel değişken zorlanmaya maruz kalmaktadır. Dolayısı ile kullanılan yuvarlanmalı yatak bileziğinde ve istavroz mıylusunda pitting yorulmaları oluşması söz

konusudur. Bu bakımdan izafi hareketli yüzeylerin sertlik değerleri ve ayrıca darbeye karşı mukavemet değerleri iyi ayarlanmalıdır. Kardan kaplinlerinde kullanılan yuvarlanmalı yatak da bütün yuvarlanmalı yataklarda olduğu gibi belli bir ömre sahiptir. Bu yatakların ömür hesabı yapılarak öngörülen ömürden fazla çalıştırılmamalıdır. Diğer yandan ara mili üzerindeki kayar mafsalsın freze dişleri yüzeyinde iletilen momentten dolayı oluşan yüzey basıncı göz önüne alınarak mukavemet hesabı yapıp, yüzey sertliği ve yağlama şartları ona göre belirlenmelidir.

Kardan kaplinlerinde oluşabilecek diğer hasarlar, ara mili ile çatal arasındaki kaynaklı birleştirmede oluşabilir. Bunun temel sebebi ise kaynak mukavemeti ve kaynaklı birleştirme esnasında elemanlar üzerinde oluşan atık gerilmeler ve bunların dinamik zorlanmalar esnasında yorulma çatlaklarının oluşmasına ve hızlı bir şekilde ilerlemesine sebep olmalarıdır. Ayrıca kaynaklı birleştirme esnasında kaynak nüfuziyetinin tam olmaması statik ve dinamik olarak beklenen mukavemeti vermeyebilir. Bu nedenle yapılan kaynaklı birleştirmelerde kaynak nüfuziyeti kontrol edilmelidir.

Kardan kaplinleri çalışmaları bakımından moment ve hareket ileten bir mil olarak görülebilir. Ancak kardan mafsallarının kinematik davranışı bağlı olduğu mil sisteminin dinamik davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle sistemin dizaynı esnasında mümkün olduğunca etkin mafsals açısı küçük tutulmalıdır. Kaplin ara mili üzerine herhangi bir kasnak volan vb. elemanlar bağlanmamalı ve ara mili ile mafsalların birleştirilmesinden sonra sistemin statik ve dinamik balans kontrolü yapılarak sistem dinamik olarak dengelenmelidir. Sistemin makine üzerine montajı esnasında aksel olarak herhangi bir ön gerilmesi olmamalıdır. Bu durumun işletme esnasında da oluşmaması için gerekli konstrüktif tedbirler alınmalıdır.

## 9. KAYNAKLAR

Fischer, I. S. and Freudenstein, F. 1985. "Internal Force and Moment Transmission in Cardan Joint With Manufacturing Tolerances," ASME Journal of Mechanisms, Transmission and Automation in Design, Vol. 107, September 1985, pp: 353-357.

Fischer, I. S. and Waal, J. K. 1995. "Experimental Study of Cardan-Joint Dynamics." Transaction of ASME, Journal of Mechanical Design, December 1995, Vol: 117, pp: 526-531.

Güleç, Ş. ve Aran, A. 1983. Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı TÜBİTAK, MBEAE, Gebze.

İleri, H. 1959. Kardan Kavramalarına ait Belli Başlı Problemler İ. T. Ü. Kütüphanesi, Sayı: 410, İstanbul.

Johnson, T. B. 1979. "Driveline Failure Modes Characterized." SAE. September 1979, Vol:79, No: 9, pp: 28-30.

Shigley, J. E. and Mischke, C. R. 1986. Standard Handbook of Machine Design Mc. Graw Hill, Chapter 29. 5. N. J.

Uçar, M., Çakır, A. ve Uçar, N. 1996. "İmalat Toleransları Dahilinde Kardan Kavramalarının Kinematik Analizi ve İmalat Toleranslarının Kavrama Kinematiğine Etkisi." **7. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi**, 101-110 s., 11-13 Eylül 1996, ODTÜ, Ankara, Türkiye.