

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTENYANMALI MOTORLARDA KULLANILAN
TRİGER KAYIŞLARINDA OLUŞAN HASARLARIN
ÇALIŞMA ANINDA TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS

Tek. Öğrt. Rıza Emre ERGÜN

**Anabilim Dalı : Makine Eğitimi
Danışman : Doç. Dr. Mehmet UÇAR**

KOCAELİ, 2009

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN
TRİGER KAYIŞLARINDA OLUŞAN HASARLARIN
ÇALIŞMA ANINDA TESPİT EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tek. Öğrt. Rıza Emre ERGÜN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Haziran 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 26 Haziran 2009


Tez Danışmanı


Üye


Üye

Doç.Dr.Mehmet UÇAR Prof.Dr.H.Faruk MENDİ Doç.Dr.Yasin KIŞIOĞLU

KOCAELİ, 2009

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İçten yanmalı motorlarda kullanılan triger kayışlarında meydana gelen hasarların kayışın kopmadan önce çalışma esnasında algılanması büyük maddi kayıpların önlenmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır. Diğer yandan senkronize çalışan ve dişli kayışlarla tahrik edilen bütün sistemlerde de kopma olmadan hasarın tespit edilip sistemin bakıma alınması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada dişli kayışta kopma olmadan önce ve sistem çalışır durumda iken kayışta kopmaya sebep olabilecek hasarların önceden tespit eden metod ve buna bağlı yeni bir cihaz geliştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile de bu metodun çalışabilirliği ve tekrarlanabilirliği böylece de triger kayışı kullanılan içten yanmalı motorlarda ve senkronize çalışan sistemlerde rahatlıkla kullanılabilirliği görülmüştür.

Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen tez danışman hocam Doç.Dr. Mehmet Uçar'a bölüm başkanımız Prof.Dr. İbrahim Kılıçaslan'a, Doç.Dr. Yasin Kişioğlu'na, Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir Cengiz'e, Yrd. Doç. Dr. Necati Özsezen'e , Öğr. Gör. Ahmet Çalışkan'a, Arş. Gör. Ali Türkcan'a ve Makine Eğitimi Bölümü Öğretim Üyeleri ve Araştırma Görevlilerine, deney tesisatının hazırlanmasında desteği olan Bölüm Teknisyeni Mehmet Hatip Önalın'a Teşekkür ederim.

Ayrıca manevi katkılarından dolayı sevgili anneme ve her türlü sıkıntılara katlanan eşime çok teşekkür ederim.

Edinmiş olduğum bütün bilgi ve becerilerimi ülkemizin daha ileri seviyelere yükselmesi için azami gayretle kullanacağıma söz veriyorum.

Rıza Emre ERGÜN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ	v
Özet	vi
Abstract	vii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
3. TRİGER KAYIŞLARIN YAPISI	10
4. TRİGER KAYIŞLARIN KULLANIM ALANLARI	13
4.1. Konvansiyonel Triger Kayışlar	13
4.2. Yüksek Tork Triger Kayışları	14
4.3. Geliştirilmiş Yüksek Tork Triger Kayışları	14
4.4. Özel Profilli Triger Kayışlar	15
5. TRİGER KAYIŞ SEÇİM HESAPLARI	16
5.1. Kayış İşletim Faktörü	16
5.2. Emniyetli Çalışma Gücü	17
5.3. Kayış Tipi Seçimi	17
5.4. Çevrim Oranı	18
5.5. Dişli Kasnak Kombinasyonu ve Kayış Uzunluğu Seçimi	18
5.6. Kayış Genişliğinin Seçimi	21
5.7. Kayış Gerginliği	23
6. TRİGER KAYIŞLARDA OLUŞAN HASARLAR VE ETKİLERİ	25
7. TRİGER KAYIŞLARINDA OLUŞAN HASARLARIN ÇALIŞMA ANINDA TESPİT EDİLMESİ	30
7.1. Deney Tertibatı	30
7.2. Lazer Sensör ve Sinyal Kuvvetlendirici Devre	35
7.3. Kontrol Birimi	36
7.4. Kontrol Yazılımı	39
7.5. Kontrol Birimi Simülasyonu	45
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	52
EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Triger kayışın yapısı.....	10
Şekil 4.1: Triger kayışlı elektronik daktilo sürücü mekanizması [20].....	13
Şekil 4.2: Triger kayışlı konveyör sürücü sistemi	14
Şekil 4.3: Hassas ürün pozisyonlama ve ağır yük transferi için konveyör bandı [23]15	
Şekil 5.1: Emniyetli çalışma gücü ve devir sayısına göre kayış adımı seçimi (8,14mm) [21].....	17
Şekil 5.2: Emniyetli çalışma gücü ve devir sayısına göre kayış adımı seçimi (2,3,5mm) [21].....	18
Şekil 5.3: Gergi kuvveti ve eğilme miktarı	23
Şekil 6.1: Diş dibi çatlakları[6]	25
Şekil 6.2: Liflerde oluşan ayrılmalar[6]	26
Şekil 6.3: Lif ayrılma bölgeleri sonlarında oluşan çatlaklar.[6]	26
Şekil 7.1: Deney tesisat şeması	31
Şekil 7.2: Liflerin ayrılması hasarı tespiti	32
Şekil 7.3: Diş yırtılması hasarı tespiti	32
Şekil 7.4: Diş kopması hasarı tespiti.....	33
Şekil 7.5: Deney tertibatının üç boyutlu görünüşü	34
Şekil 7.6: Algılayıcı sensörün diş dibi yırtılması hasarının algılanması için yerleşim biçimi	34
Şekil 7.7: Algılayıcı sensörün kayış yanaklarındaki ve sırtındaki lif kopması ile diş kopması hasarlarının algılanması için yerleşim biçimi.....	34
Şekil 7.8: Lazer sensör prensip şeması	35
Şekil 7.9: Sinyal kuvvetlendirici devre.	36
Şekil 7.10: PIC 18F452 Mikro denetleyici portları.	37
Şekil 7.11: Kontrol birimi devre tasarımı	38
Şekil 7.12: CCS PIC – C Derleyicisi ara yüzü	39
Şekil 7.13: Grafik LCD hazırlanması	41
Şekil 7.14: Lif hatası uyarı görüntüsü.....	42
Şekil 7.15: Diş yırtılması hasarı uyarı görüntüsü	43
Şekil 7.16: Diş kopması hasarı uyarı görüntüsü.....	44
Şekil 7.17: Proteus ISIS program ara yüzü ve kontrol birimi simülasyon devresi.....	45
Şekil 7.18: 2.51 kHz darbe üretici birim.	46
Şekil 7.19: Diş yırtılması simülasyon devresi	46
Şekil 7.20: Diş kopması hasarı için sinyal üretici birim	47

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1: Kayış tipine göre standart dişli kasnaklar ve özellikleri	19
Tablo 5.2: Kasnak eksenleri arası mesafe tablosu	20
Tablo 5.3: Kavrayan diş sayısına göre güç düzeltme faktörü	22
Tablo 5.4: 3 mm adımlı kayış güç aralığı tablosu	22
Tablo 5.5: Kayış genişliği düzeltme faktörü	23
Tablo 6.1: Triger kayışlarındaki genel hasar tipleri ve oluşum sebepleri.....	28

SİMGELER

KIF	: Kayış işletim faktörü
P	: Tahrik gücü, [kW]
P_D	: Emniyetli çalışma gücü, [kW]
i	: Çevrim oranı
n_1	: Büyük dişli kasnağın devir sayısı, [dev/dk]
n_2	: Büyük dişli kasnağın devir sayısı, [dev/dk]
z_1	: Küçük dişli kasnağın diş sayısı
z_2	: Büyük dişli kasnağın diş sayısı
z_c	: Adım cinsinden eksenler arası mesafe
d	: Küçük kasnağın adım dairesi çapı, [mm]
D	: Büyük kasnağın adım dairesi çapı, [mm]
L	: Triger kayış uzunluğu, [mm]
C	: Eksenler arası mesafe, [mm]
β	: Sarma açısı, [°]
T_{st}	: Maksimum kurulum gerginliği, [N]
v	: Kayış hızı, [m/s]
p	: Kayış diş adımı, [mm]
F_{maks}	: Kayışa uygulanacak maksimum gergi kuvveti, [N]
F_{min}	: Kayışa uygulanacak minimum gergi kuvveti, [N]
f_{xtal}	: Kristal rezonatör frekansı, [MHz]
f_{osc}	: Mikro denetleyici komut işletim frekansı, [MHz]
T_{osc}	: Komut işletim periyodu, [s]
T_{kesme}	: Kesme fonksiyonu işletim periyodu, [s]
K	: Kayış işletim faktörü
K_0	: Çalışma faktörü
K_1	: Hız oranı düzeltme faktörü
K_2	: Yorulma düzeltme faktörü

Kısaltmalar

KDS	: Kavrayan diş sayısı
KEM	: Kayış eğilme miktarı, [mm]

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN TRİGER KAYIŞLARINDA OLUŞAN HASARLARIN ÇALIŞMA ANINDA TESPİT EDİLMESİ

Rıza Emre ERGÜN

Anahtar Kelimeler : Triger kayışı, Senkronize kayış hasarları, Dişli kasnak

Özet: Bu çalışmada, triger kayışı kullanılarak kam milleri tahrik edilen içten yanmalı motorların dişli kayışlarında kopmadan önce oluşabilen lif kopması, diş dibinin kesilmesi ve diş kopması hasarlarının gerçek zamanlı olarak tespit edilip kullanıcıyı ikaz edecek bir hasar tespit cihazının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Sistemin çalışma prensibi ışık kaynağından gönderilen ince huzmeli ışık demetinin karşıdaki bir foto detektöre ulaşımının araya parçacıklar girerek kesilmesi ve kesilmenin olması ile de hasarın mevcut olduğu esasına dayanmaktadır. Yapılan çalışmada OEM triger seti kullanılmıştır. Hasarsız ve üç tip hasarlı triger kayışları kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 0.6 mm çapında lazer ışınlarıyla kayış sırtında ve yanal yüzeylerinde oluşan lif ayrılmaları, dişlerde oluşan yırtılma ve kopmalar izlenmiş, bahsi geçen hasarların meydana gelmesi durumları foto detektörler kullanılarak algılanıp mikro kontrolör aracılığı ile değerlendirilmiştir. Hasar oluştuğu anda kullanıcının görsel olarak uyarılması sağlanmıştır. Sistemde 20 MHz'lik mikro kontrolör kullanılarak 3000 dev/dak'lık hızlara kadar sistemin düzgün çalıştığı görülmüştür. Daha yüksek devir sayılarında da sistemin düzgün çalışabilmesi için yüksek hızlı mikro kontrolör kullanılması gerektiği görülmüştür. Sistemin tasarımının sade ve cihazın küçük boyutlu olması nedeni ile içten yanmalı motorlarda rahatlıkla kullanılabilceği görülmüştür.

REAL TIME FAILURE DETECTION ON THE TIMING BELT USING INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Rıza Emre ERGÜN

Keywords: Timing belt, Timing belt failure, Toothed pulley

Abstract: In this study, a novel failure detection system has been designed and produced to determine three types of belt damage called separations of fibers, broken teeth and, ripped root of teeth that occurs before breaking of the timing belt. It also warns the driver as real time before breaking of the belt. Principle of the system is based on interruption of thin light between the light source and the photo detector placed opposite. Damage detection of timing belt is defined by interruption of the light. An experimental study had been accomplished using of an undamaged and three timing belts having different types of damages. Separations of fibers at back side and side surfaces of timing belt, broken teeth and torn roots of teeth has been monitored using laser at 0.6 mm diameter and occurrence of the damages has been sensed by photo detectors and analyzed by microcontroller. At the existence of any damage the user has been warned visually. There has been seen properly working of the system at speed of 3000 rpm with using microcontroller working at 20 MHz frequency. At higher speeds, there has seen that faster microcontrollers should be used for the operation of the system properly. Because of the small size and simplicity of the system, it has been seen that the system can be easily used with internal combustion engines.

1. GİRİŞ

Otomotiv teknolojisinde içten yanmalı motor en önemli ana birimi oluşturmaktadır. İçten yanmalı motorların icadından günümüze kadar oldukça gelişmeler kat edilmiştir. Bu gelişmeler arasında motor supaplarının konumunu krank milinin açısız pozisyonuna göre düzenleyen kam milinin tahrikinde kullanılan dişli ve zincir dişli mekanizmalarının yerini (dişli kayışlar veya senkronize kayışlar olarak da adlandırılan) triger kayışları almıştır. Triger kayışları bazı tip motorlarda soğutma suyu ve yağ pompasının tahrikinde de kullanılmaktadır. Ancak burada zamanlamanın supapları tahrik eden kam milindeki kadar önemi yoktur.

Dört zamanlı içten yanmalı motor teknolojisinde kam mili/milleri $i=2$ çevrim oranında krank mili tarafından tahrik edilmektedir[1]. İçten yanmalı motorlarda krank miline bağlı pistonun konumuna bağlı olarak emme ve egzoz supaplarının konumlarının senkronize olmaları ve çevrim oranının sürekli sabit tutulması için kullanılan iletim mekanizmasının şekil bağlı olması gereklidir. Bu nedenle kam milinin tahrikinde kuvvet bağlı olan sürtünmeli çark, düz veya V kayış kasnak mekanizmaları kullanılmamaktadır. Diğer yandan motorlar özellikle yüksüz durumda çok yüksek açısız ivmelere maruz kaldıklarından krank mili ile kam mili arasındaki irtibatı sağlayan makine elemanlarının mümkün olduğunca düşük kütleli olması tercih edilmelidir.

Krank mili eksenini ile kam mili eksenini birbirine yakın tip motorlarda dişli çark mekanizması kullanılabilir. Ancak bu kam mili üzerindeki yürek mekanizmasının kinematik yapısından hızlı tork değişimlerine sebep olup bu da dişli çarklarda vurutuya dolayısıyla gürültü ve aşınmaya sebep olabilmektedir. Ayrıca çevrim oranının sabit olması nedeniyle vurutuların hep aynı dişlere tekabül etmesi ile ilgili dişlerde daha hızlı bir aşınmaya sebep olacaktır. Bunun için dişli çark yerine zincir dişli veya dişli kayış-kasnak mekanizması kullanılması daha uygun bir konstrüksiyon olarak görülmektedir. Zincir dişli ve dişli kayış-kasnak mekanizmalarında, krank

miline ve kam miline bağlı olan zincir dişli ve dişli kasnaklar sabit çevrim oranında olmalarına rağmen zincir ve dişli kayış bunların çevresine belirli bir aı ile sarılarak dolandıklarından dolayı her zaman aynı dişler darbeli çalışmaya maruz kalmayacaktır. Diğer yandan birden çok dişin kavramış olması da darbeli yüklerin dağıtılmasına sebep olmaktadır.

Zincir dişli ve dişli kayış-kasnak mekanizmalarının krank mili ve kam mili eksenleri arasındaki mesafenin ayarlanmasında gergi mekanizmalarının da kullanılmasıyla oldukça esneklik sağlamaktadır. Bu da motor konstrüksiyonu bakımından tasarım aşamasında büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Diğer yandan zincir dişili ve dişli çark mekanizmaları triger kayışlarına nazaran daha mukavim ve dayanıklı makine elemanlarıdır[2]. Bu nedenle yüksek kam mili reaksiyon torku olan büyük motorlarda dişli kayış sistemi kullanılmamaktadır[3]. Ancak dişli çark ya da zincir dişli mekanizmalarının verimli çalışması ve eleman çiftleri arasındaki sürtünme kuvvetinin asgari değere indirilmesi için yağlanması gerekmektedir. Bu da dişli çark ya da zincir dişli mekanizmalarının ilave düzenekler kurulması gerekliliğinden dolayı dezavantajı olarak ortaya çıkmaktadır.

Triger kayışları ise yağlamaya ihtiyaç duymadan çalışmaları, çalışma ömürlerini doldurduklarında kolayca yenisi ile değiştirilebilmeleri bakımından tercih edilmektedir. Motor dizaynında krank ve kam mili eksenleri arasındaki uzun ve esnek mesafe koyabilmek için oldukça uygun bir makine elemanı olmaları da önemli bir tercih sebebidir. Ancak özellikle düz dişli kayış kasnak mekanizmalarında kayışın dişli kasnaklar etrafını dolanırken kasnak üzerinde eksenel konumunu koruması için dişli kasnak eksenlerinin oldukça hassas düzenlenmesi gerekmektedir. Buna nlem olarak dişli kasnaklardan bir tanesinin kenarları kılavuz faturalı (yanaklı) olarak yapılmaktadır. Bu da kayış kenar yüzeylerinin kasnak yanak yüzeyine coulomb sürtünmesi sonucu kayışta hızlı bir aşınma ve hasara sebep olabilmektedir. Bunun yerine kayış ve kasnak diş profilleri avuş dişli profili şeklinde modeller tasarlanmıştır[4]. Diğer yandan triger kayışları düşük çekme kuvvetlerine dayanabilmeleri ve yüksek elastik özelliklerinden dolayı, ařırđ yüklenmeleri durumunda üzerine sarıldıkları özellikle krank mili dişli kasnağında diş atlaması yapabilmektedirler[5]. Bu da krank mili ile kam mili arasındaki senkronize çalışmayı

bozmaktadır. Böylece krank miline bağı pistonun konumuna göre supapların konumunda değişikliğe sebep olup motorda verimin düşmesine ve pistonun supaplara çarpmasına dahi sebep olabilmektedir.

Triger kayışlarında, yanlış montajdan, imalattan ve işletme şartlarından kaynaklanan hatalardan dolayı imalatçı tarafından belirlenen ömürleri dolmadan hasarlar oluşabilmektedir. Özellikle yorulma sonucunda diş dibi kenarlarının yırtılması ve kayış içine doğrusal olarak yerleştirilmiş kord liflerinin kopmasıdır[6]. Diğer yandan ani açısız ivmelenmeler sonucu triger kayışının dişlerinde meydana gelen aşırı yük sonucunda dişlerin dibinden kopması yine sıkça görülen hasarlardır. Dişli kayışlarda meydana gelen bu tür hasarların çoğu kayışın ani kopmasına sebep olmayıp kayışın ömrünü hızlı bir şekilde düşürüp beklenmedik bir anda ya da bir sonraki aşırı yüklemde kayışın kopmasına sebep olmaktadır. Bu da çalışır durumdaki ve özellikle seyir halindeki içten yanmalı motorda oldukça büyük hasarlara sebep olabilmektedir.

Senkronize kayışlar henüz kopmadan yanak yüzeylerinde lif uçlarının görünmesi ile taşıyıcı fiberlerde kopmanın olduğunu göstermektedir. Diğer yandan diş ile çekme kuvvetini taşıyan kayışın tabanın birleştiği bölgeden diş dibinin kesilmesi durumunda ise dişin diğer dişlerden daha yüksekte olduğu görülmektedir. Bu tür hasarların kayış kopmadan önce tespit edilmesi ile büyük maddi hasarların önüne geçilebilir. Günümüze kadar bu tür hasarların gerçek zamanlı tespit edilmesine dair bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan birisi triger kayışta oluşan yırtılmaları algılayan sistemdir. Bu sistemde bir ışık kaynağından çıkan ışık kayış üzerine yönlendirip buradan yansıyan ışık miktarı bir foto detektör yardımıyla algılanarak kayışta yırtılma olup olmadığını tespit etmektedir[7]. Ancak bu sistemde kayış üzerindeki lif kopmaları ve diş dibi kesilmeleri tespit edilememektedir. Diğer yandan bu alanda yapılan bir diğer önemli çalışma ise; içerisinden çelik lif geçen kayışın iki tarafına karşılıklı olarak aynı özellikte sarılmış 2 adet bobin yerleştirilmiştir. Sarım sayıları ve tel özellikleri aynı olan iki ayrı bobin bulunan (kısaca endüktansları aynı) sistemde primer bobine alternatif gerilim uygulanmakta ve diğer bobinden ise ilk bobinde oluşan manyetik alan etkisiyle bir gerilim indüklenmektedir. Sarım sayıları ve tel özellikleri aynı olduğundan indüklenen gerilim, birinci bobine uygulanan

gerilim ile hemen hemen aynı olacaktır. Manyetik alanın düzgün olabilmesi için gereken kapalı döngü metal çekirdek için ise triger kayış içerisindeki çelik liflerden faydalanılmaktadır. Dolayısıyla kayış içerisinde bu lifler koptuğu durumda sekonder bobinden ölçülen gerilimde bir değişim söz konusu olacaktır. Bu durumda da sistem alarm vererek kayışın değiştirilmesi gerektiğini bildirmekte ve/veya ateşlemeyi keserek motoru durdurmaktadır[8]. Ancak bu çalışmada oluşturulan sistem çelik kordlu triger kayışlar için geçerli olup kord malzemesi iletken olmayan triger kayışlarında kullanılamamaktadır. Yapılan literatür araştırmasında her tipteki triger kayışlarında kopma olmadan önce oluşan hasarları gerçek zamanlı olarak tespit edip kullanıcıyı uyararak bir sisteme rastlanamamıştır.

Bu çalışmada, içten yanmalı motor çalışır durumda iken dişli kayış üzerinde oluşacak hasarların gerçek zamanlı olarak tespit edilip kullanıcıyı ikaz edecek bir hasar tespit cihazının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada 0.6 mm çapında lazer ışınlarıyla kayış sırtında ve yanal yüzeylerinde oluşan lif ayrılımları, dişlerde oluşan yırtılma ve kopmalar izlenmiş, bahsi geçen hasarların meydana gelmesi durumları foto sensörler kullanılarak algılanmış ve mikro kontrolör aracılığı ile değerlendirilip hasar oluştuğu anda kullanıcının görsel olarak uyarılması sağlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Son dönemlerde triger kayışlar üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğunu kayışların ömürlerini uzatmak ve güç taşıma kabiliyetlerini geliştirmek üzere yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda zaman içerisinde kayışların aşınma dayanımları yükseltilmiş, kullanım ömürleri uzatılmış dolayısıyla servis maliyetleri düşürülmüştür. Gerek kayış yapısını oluşturan malzemelerin gerekse dış profillerinin iyileştirilmesi üzerine yoğunlaşan bu çalışmalar ani, aşırı ve beklenmedik yükler altında kayışlarda çeşitli hasarların oluşmasını geciktirmekte fakat engelleyememektedir. Dolayısıyla kayışlarda servis periyodundan önce bir zamanda kopmalar oluşabilmektedir. Bu bağlamda triger kayışların yük altında çalışma durumlarını gözlemek, hasar sebepleri ve oluşma mekanizmalarını tanımlamak için çeşitli çalışmalar ve oluşan hasarları algılamaya yönelik değişik tasarımlar yapılmıştır[9].

Dalgarno, Day, Childs, ve Moore triger kayışlarının rijitlik kaybı üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları deneyler ile çalışma esnasında kayışlarda boylamasına oluşan rijitlik kaybının meydana gelişi, rijitlikteki değişimleri inceleyerek hasar oluşumuna ve kayış ömrüne etkilerini değerlendirmişlerdir[9].

Iizuka, Watanabe ve Mashimo triger kayışları üzerinde yaptıkları yorulma analizlerinde hasar oluşum mekanizmalarını incelenmişlerdir. Yapılan deneylerde kayışlar çeşitli ön gerilimler ile yüklenerek sabit devirde ve sabit tork değerlerin altında belirli süre çalıştırılmıştır. Hasarlı kayışlar optik mikroskop altında incelenerek kayışın hangi bölgelerinde çatlakların oluştuğu tayin edilmiştir. Ayrıca kayışın yanal yüzeyleri üzerinde işaretlemeler yapılarak sabit yük altında yüklenmiş ve yük altında kayış üzerindeki bu işaretlemelerde oluşan yer değişimleri optik mikroskop altında incelenerek x ve y doğrultularında yer değişim miktarları belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerin ışığında triger kayışlarında oluşan yorulma temelli hasarların başlangıç noktaları ve yayılım yönleri tayin edilmiştir[6].

Abdul Fattah yaptığı çalışmada bilgisayar destekli mühendislik yazılımlar yardımıyla triger kayışının ömür tahmin modelini oluşturmuştur. Çalışmada triger kayışlarının bilgisayar tabanlı analitik modellemesi yapılarak oluşturulan model ve istatistiksel analiz yardımıyla kayışların ömürlerini tayin etmeye yönelik bir model oluşturulmuştur. Literatürde mevcut modeller temel alınarak oluşturulan analitik model üzerinde istatistiksel analiz ile elde edilen veriler doğrultusunda oluşan hasarlar ile kayışların ömür tahminleri yapılmıştır. Verilerin yetersizliği nedeniyle net sonuçlar elde edilememesine karşılık kaliteli veriler ile metodun iyi ve geçerli ömür tahminleri yapabileceği belirlenmiştir[10].

Tasarlanmış sistemler çeşitli yöntemler kullanarak triger kayış üzerinde oluşan hasarları ve kayışın kopma durumunu gözlemektedir. Hasar algılama sistemlerinden birisi motor üzerinde krank milinin ve kam milinin açılma konumlarını izleyerek kayışta diş atlaması olup olmadığını gözlemektedir. Sistemde krank mili ve kam milinin pozisyonları manyetik sensörler aracılığı ile izlenmektedir. Sağlam bir motorun bir çevrimi esnasında krank milinin belirli dönüş derecelerinde alınan sinyallere karşılık kam mili tarafında elde edilen sinyallerin zamanlamalarının belirli aralıklarla ve sabit olduğu göz önünde bulundurularak, elektronik bir devre tarafından motorun çalışması esnasında oluşan, belirli krank mili açılara karşılık gelen, kam mili sinyallerinin zamanlamaları takip edilmektedir. Triger kayışta diş atlaması veya diş kopmaları sonucu kaçırımlar meydana geldiğinde kam mili tarafında oluşan sinyaller, sağlam sistem sinyalleri ile karşılaştırıldığında krank mili sinyallerine oranla farklı periyotlarda, diğer bir deyişle belirli kam mili açılara göre farklı zamanlarda oluşmaktadır. Böylece triger kayışta oluşan diş atlaması, algılanmaktadır[11].

Tasarımı yapılan diğer bir sistemde motor üzerinde çalışan iki triger kayışın kopma durumları gözlenmektedir. Triger kayışların kopma durumu mekanik sensörler veya optik algılayıcılar ile izlenmektedir. Mekanik sensörlü uygulamada uç kısmında rulman bulunan anahtarlar kayışların sırtları ile sürekli temas halinde bulunmaktadır. Kayışlardan birinde kopma olduğu durumda kayışa ait mekanik anahtar açılarak bir sinyal oluşturmaktadır. Optik algılayıcı sistemde ise kayışların sırt kısımları birer ışık kaynağı (Led, lazer) yardımıyla aydınlatılmaktadır. Triger

kayışların dişli yüzeyleri tarafına, ışık kaynaklarının karşısına yerleştirilmiş ışığa duyarlı algılayıcılar (foto-transistör, foto-diyot) kayışlardan birinin kopması durumunda aydınlanmakta ve sinyal üretmektedirler. Her iki sistemde de oluşan sinyal bir kontrol devresi ile algılanmakta ve sürücüye kayışlardan birinin koptuğuna dair bir uyarı ışığı yanmaktadır. Sistemde kullanılan ikinci kayış motorun zarar görmesini engelleyerek aracın servise gidebilmesini sağlamaktadır[12].

Bir başka sistemde ise hasar algılama için eski tip triger kayışların çekme elemanları olan çelik liflerden faydalanılmaktadır. Bu sistemde sarım sayıları, sarım çapları ve tel özellikleri (endüktansları) aynı olan iki bobin triger kayış yanına yerleştirilmişlerdir. Sistemde bobinlerden birine uygulanan alternatif akım ile bobin çevresinde manyetik alan oluşturulmaktadır. Bu manyetik alan ikinci bobin üzerinde bir akım indüklenmesini sağlamaktadır. İkinci bobinde oluşan akımın genliği bir kontrol devresi tarafından kontrol edilmektedir. Birinci bobinde oluşan manyetik alanın ikinci bobin üzerinde yoğunlaşması, kapalı bir çevre oluşturan, triger kayış içine gömülü çelik lifler tarafından sağlanmaktadır. Çelik liflerde oluşan kopmalar dolayısı ile manyetik alan yoğunluğu değişmekte ve ikinci bobinde oluşan akımın genliğinde değişimler meydana gelmektedir. Kontrol devresi liflerin kopmasıyla orantılı akım genliği değişimlerini algılayarak kayışın hasar gördüğünü veya değiştirilmesi gerektiğini sürücüye bildiren bir uyarı sinyali oluşturmakta ve/veya motoru zarar görmemesi için durdurmaktadır[8]. Aynı prensip üzerine kurulu bir başka sistemde ise çelik liflerin kopmasına bağlı olarak ikinci bobinde oluşan osilasyon değişimleri algılanmakta ve kayışın hasar gördüğüne karar verilmektedir[13].

Foto algılayıcılardaki gelişmeler doğrultusunda bu algılayıcılar çeşitli sistemlerde hata, hasar tespitinde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lazer yardımıyla kumaşlar üzerinde hata tespiti bu alanda verilebilecek örneklerden birisidir. Üretim esnasında, bir lazer ışını kumaş üzerine çizgi halinde enlemesine olarak yansıtılarak tarama yapılmaktadır. Kumaş üzerinde meydana gelmiş delik ve yırtıklardan sızan lazer ışınları mercekler yardımıyla foto algılayıcı üzerine düşürülmekte ve kumaş üzerindeki hata ve hasarların tespiti yapılabilmektedir. Tarama çizgilerinin artırılmasıyla algılama hassasiyeti artırılmaktadır[14].

Benzer bir uygulamada lazer kaynağı ile foto algılayıcılar kumaşın aynı yüzünde bulunmaktadır. Kumaş yansıtıcı bir silindir üzerinden geçirilmekte ve hasarlı bölgelerden sızarak silindirden yansıyan lazer ışınları foto algılayıcılar tarafından sezilerek hasarlı bölgelerin tespiti yapılmaktadır[15]. Işık temelli hasar, hata algılama sistemleri kağıt üretimi esnasında da kullanılmaktadır. Kağıt üretimi esnasında kenarlarda oluşan çatlak, ve yırtıkların algılanması için lazer ışınlarından faydalanılmaktadır. Kağıt kenarlarında oluşan yırtık ve çatlaklardan sızan ışınlar foto algılayıcılar aracılığı ile algılanmakta ve hasarlı yerler tespit edilebilmektedir[16]. Farklı bir uygulamada foto algılayıcılar teyp kasetlerindeki manyetik bantların bağlantı noktalarının algılanmasında kullanılmaktadır. Bu uygulamada manyetik bant üzerine bir ışık demeti gönderilmekte ve bant üzerinden yansıyan ışık miktarındaki değişimler algılanmaktadır. Ek yapılan noktalardan foto algılayıcı üzerine yansıyan ışık miktarı, kırılmalar ve farklı yöne yansımalarından dolayı değişim göstermektedir. Böylece kontrol devresi yardımıyla eklem noktaları ve uzunlukları tayin edilebilmektedir[17]. Bir diğer uygulamada radyal lastiklerin kaynak yerlerinin doğru olup olmadığı kontrol edilmektedir. Sistemde, bir tambur üzerine sarılı lastiğin yüzeyine, lazer kaynağı yardımıyla, belirli boylarda ve belirli aralıklarda paralel çizgiler oluşturulmaktadır. Oluşan görüntü yüksek çözünürlüklü bir kamera yardımıyla görüntü işleme ünitesine aktarılıp, görüntü üzerindeki paralel çizgilerde meydana gelen kaymalar analiz edilerek hatalı kaynak bölgeleri tayin edilebilmektedir[18]. Üretim anında şerit halindeki malzemelerde oluşan yüzey ve renk bozukluklarının algılanmasında yine foto algılayıcılardan yararlanılabilmektedir. Malzeme yüzeyi optik bir sistem yardımıyla beyaz ışık ile aydınlatılmakta ve yüzeyden yansıyan ışık miktarı ile dalga boyundaki değişimler bir grup foto detektör yardımıyla izlenmektedir. Malzeme yüzeyinde oluşan bozukluklar ile malzeme üzerinden algılayıcılara yansıyan ışık miktarı değişmektedir. Böylece yüzey bozuklukları algılanabilmektedir. Bununla birlikte malzemedeki renk değişimlerin algılanılmasında yansıyan ışığın dalga boyundaki değişimlerden yararlanılmaktadır. Belirli dalga boylarındaki ışığı algılayabilen foto detektörlerin yardımıyla, malzemedeki renk değişimi sonucunda yansıyan ışığın dalga boyunda oluşan değişimler incelenmekte ve renk değişimleri tespit edilmektedir[19].

Günümüze kadar triger kayışları üzerine yapılan çalışmalara baktığımızda özellikle içten yanmalı motorların çalışması esnasında farklı malzeme yapısına sahip triger kayışları üzerinde oluşacak tanımlanmış olan hasarların gerçek zamanlı olarak tespit edilip kullanıcıyı ikaz edecek bir hasar tespit cihazına rastlanmamıştır. Sadece metal kordlu triger kayışlar için detaylı bir çalışma yapılmış ve patent koruması altına alınmıştır. Ancak burada manyetik alan metodundan faydalanılmıştır.

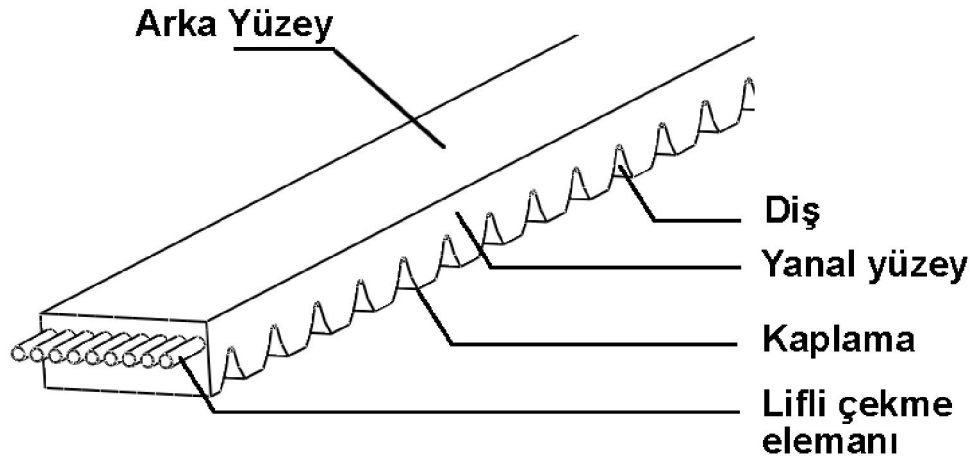
Bu çalışmada, triger kayışlarında oluşan belirli hasar türlerini tespit etmeye yönelik bir sistem tasarımı yapılmış ve deneysel olarak uygulanmıştır. Tasarlanan sistem triger kayışlarında oluşan diş yırtılması, diş kopması ve liflerin ayrılması hasar türlerini tespit ederek sürücüye hasar ile ilgili bir uyarı sinyali göndermektedir.

Sistem, tasarımı yapılan lazer sensörler ile hareket halindeki triger kayışı izlemektedir. Kayış üzerinde hasar oluşması durumunda sensörler tarafından oluşturulan sinyal kontrol biriminde değerlendirilmekte ve oluşan hasarın türüne göre bir uyarı sinyali üretilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada 0.6 mm çapında lazer ışınlarıyla kayış sırtında ve yanal yüzeylerinde oluşan lif ayrılmaları, dişlerde oluşan yırtılma ve kopmalar izlenmiş, bahsi geçen hasarların meydana gelmesi durumları foto sensörler kullanılarak algılanmış ve mikro kontrolör aracılığı ile değerlendirilip hasar türüne göre oluştuğu anda ya da belirli limitleri aştığı durumda kullanıcının görsel olarak uyarılması sağlanmıştır.

3.TRİGER KAYIŞLARIN YAPISI

İçten yanmalı motorlarda supap zamanlamaları verim açısından önemli bir rol oynamaktadır. Egzoz ve emme supaplarının uygun zamanlarda açılıp kapanması triger kayışların krank milinden aldığı hareketi senkronize bir şekilde kam mili/millerine ilemesiyle tayin edilmektedir. Ayrıca bazı tip motorlarda yağlama ve soğutma sistemleri için gerekli olan güç de triger kayışlar ile iletilmektedir[1].

Triger kayışlar yapıları itibariyle dört ana bölümden oluşmuşlardır. Kauçuk veya poliüretandan oluşmuş arka yüzeyin altında çok ince bir kauçuk doku içerisinde yerleşmiş, çelik teller ya da genellikle cam elyaftan oluşan lifli doku bulunmaktadır. Lifli dokunun alt kısmında ise yine kauçuk veya poliüretandan meydana gelen ve diş geometrilerini oluşturan doku ile diş yüzeylerini kaplayan aşınmaya mukavim tekstil ya da poliyamid kaplama bulunmaktadır[20].



Şekil 3.1: Triger kayışın yapısı

Triger kayışlar diğer kayışlara oranla üç kata kadar daha fazla dayanım sağlayan polimer lifler veya çelik lifler ile güçlendirilmiştir. Standart triger kayışların diş ve gövdeleri genellikle sentetik kauçuk, iç kordonları cam elyaf ve dişlerin yüzey kaplamaları da naylon olmaktadır. Kayışın taşıması gereken güç arttıkça yapısını

oluşturan malzemeler de değişim göstermektedir. Örneğin dişler ve gövde poliüretan, iç kordonlar aramid ve dişlerin yüzey kaplamaları da naylondan oluştuğunda aynı yapısal özelliklere sahip standart bir kayışa oranla %30 daha fazla beygirgücü taşıma kapasitesine sahip olmaktadır[21].

Triger kayışların yapı özellikleri hassas konumlama açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Değişken yükler altında kayma ve kaçırma olmaksızın güç iletimi sağlanabilmesi gerekmektedir. Hassas konumlama için kayış üzerindeki dişlerin kasnak üzerindeki kanallara uygun bir şekilde geçmesi ve yuvasından ayrılana kadar pozisyonunu koruması gerekmektedir. Diğer bir deyişle kasnak üzerine sarılmış kayışın adımının kasnak adımıyla tamamen uyuşması gerekmektedir. Bunun tayin edilebilmesi için de triger kayış malzemelerinin yüksek gerilme dayanımına sahip olması gerekmektedir.

Triger kayışların büyük kuvvetleri hatasız, sessiz ve uzun süreli taşıyabilmelerini sağlayan önemli faktörlerden bir diğeri de diş yapılarıdır. Konvansiyonel triger kayışlar trapez diş yapısına sahiptirler. Trapez diş yapısı, dişlerin kasnak üzerindeki yuvalarına merkezli bir şekilde oturmalarını sağlar. Bu durum hassas pozisyonlama gerektiren uygulamalarda büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak dişlerin keskin köşeli konstrüksiyonlarından dolayı diş profilleri ağır yükler altında yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır. Bu gerilmelerin etkisiyle dişler diğer diş profillerine oranla nispeten kısa sürede aşınmaktadırlar[22].

Yapılan yenilikler doğrultusunda trapez diş yapılarından eğrisel diş profillerine geçilmiştir. Böylelikle kayışların yüksek tork kapasitelerinde çalışabilmeleri sağlanmış ve işletim ömürleri önemli ölçüde uzatılmıştır. Ancak eğrisel diş profili hassas pozisyonlama gerektiren uygulamalarda trapez diş profilleri kadar verimli olmamaktadır[22].

Eğrisel diş profilleri trapez dişlerin tabanında oluşan gerilme yığılmalarını önemli ölçüde azaltmıştır. Böylece kayışın taşıyabildiği yük kapasitesi artırılmıştır. Fakat diş boyutları büyüdüğü için dişlerin kasnak üzerindeki yuvalarına yerleşip ayrılmaları esnasında geri tepme etkisi oluşmuştur. Geri tepme olayı dişlerde hızlı bir aşınmaya

sebebiyet verdiği için kasnak üzerindeki yuvalar genişletilmiş ve kayışın işletim ömrünün artırılması sağlanmıştır. Dişler ile kasnak arasındaki boşluklar hassas pozisyonlama uygulamalarında gerektiren uygulamalarda karşımıza bir dezavantaj olarak çıkmaktadır. Eğrisel diş profillerinin çalışabilmesi için gereken boşluk miktarı kasnak çapının küçülmesiyle artmaktadır. Küçük çaplı kasnaklar kullanıldığında eğrisel diş profili için gereken boşluk miktarı aynı özelliklerde bir triger kayışa oranla yaklaşık dört kat büyümektedir[21].

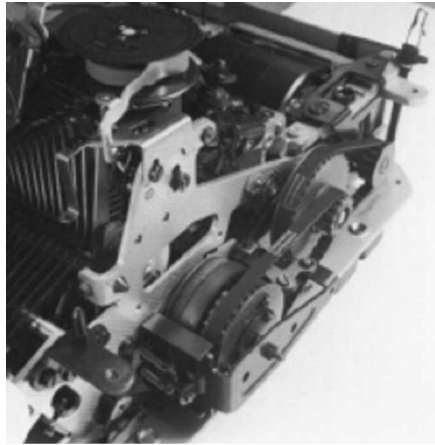
Günümüzde trapez ve eğrisel diş yapılarıyla birlikte iki geometrinin ortak özelliklerini barındıran geliştirilmiş eğrisel diş yapılı kayışlar ön plana çıkmaktadır. Geliştirilmiş eğrisel diş profili, trapez dişli kayışlarda kayış ömrünü kısaltan diş tabanında yoğunlaşmış gerilme hattını, diş yüzeyinin dişlideki kanala tamamen temasıyla engellemektedirler. Dişlerin artırılan kesit alanı dişler üzerinde oluşan kesme gerilmesini azaltmaktadır. Böylece uygulanan tork nedeniyle oluşan diş deformasyonları azalmakta ve kayış ömrü oldukça artmaktadır[20]. Bununla birlikte geliştirilmiş eğrisel diş profili kasnak kanallarına hassas bir şekilde giriş ve çıkışı sağlamakta dolayısı ile tepme etkisi azalmakta ve kayış titreşimleri düşmektedir. Diş profilinin kasnak kanalıyla mükemmel uyumu hassas pozisyonlama, zamanlama uygulamalarında trapez diş profiline eşdeğer sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Modifiye edilmiş diş profili dişli kanalları ile paralel yüzeysel temas sağlamakta, gerilme konsantrasyonlarını ortadan kaldırmakta ve yük altında oluşan diş deformasyonlarının azaltarak kayışın güç iletimi kabiliyetini artırmaktadır[21].

4.TRİGER KAYIŞLARIN KULLANIM ALANLARI

Triger kayışlar, günümüzde, birçok uygulamada zincir - dişli sistemleri ve dişli çarkların yerini almıştır. Diğer alternatiflerine oranla güç iletiminde gerekli olan yüksek tork taşıma kabiliyeti ve hassas pozisyonlama yetenekleri yanında sessiz çalışma, bakım kolaylığı ve ekonomiklik gibi avantajları da beraberinde getirmektedirler. Triger kayışlar taşıyabilecekleri güç kapasiteleri ve hassas pozisyonlama yetenekleri bakımından dört ana gruba ayrılmaktadır.

4.1. Konvansiyonel Triger Kayışlar

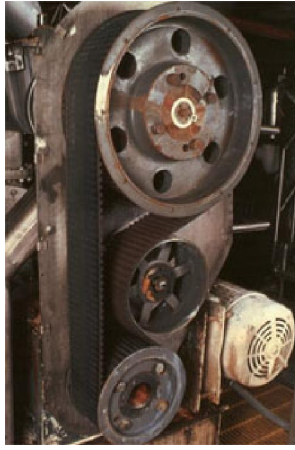
Genellikle yüksek güç aktarma gerekliliği bulunmayan hassas pozisyonlamanın ön plana çıktığı uygulamalarda kullanılan triger kayış tipidir. 10000 dev/dk hızda 150 kW' a kadar güç iletebilmektedirler. Trapez diş yapısına sahip oldukları için dişler kasnak üzerine yuvalarına hassas bir şekilde yerleşirler. Ancak dişlerdeki gerilme yığılmaları çizgisel olduğu için zorlandıklarında dişlerde yırtılma, aşınma ve kopma gibi sorunlar oluşmaktadır. Dolayısı ile yüksek güç iletimi gerektirmeyen, ofis makinaları (yazıcı, tarayıcı vb.), medikal cihazlar, lineer hareket uygulamaları ve robotik uygulamalar gibi sistemlerde yoğun olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 4.1: Triger kayışlı elektronik daktilo sürücü mekanizması [20]

4.2. Yüksek Tork Triger Kayışları

Eğrisel diş profiline sahip bu triger kayış tipi sanayide oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Yüksek güç iletim kabiliyeti (yaklaşık 1000 kW) ve %99'a varan verimliliğe sahiptirler. Sanayide, konveyör bantları sürücü sistemleri, presler, kompresör ve pompaların tahrik mekanizmaları, kırıcı, delici ve öğütücülerin tahrik mekanizmaları, gibi yüksek güç gerektiren sistemlerde kullanılmaktadırlar.



Şekil 4.2: Triger kayışlı konveyör sürücü sistemi

4.3. Geliştirilmiş Yüksek Tork Triger Kayışları

Eğrisel yapılı diş profillerinin yanında sessiz çalışma ve hassas merkezleme kabiliyetine sahip kayış tipleridir. Güç aktarma oranları önceki tasarımlara oranla %30'a kadar daha fazladır[21]. Standart triger kayışlar ve yüksek tork ileten kayışların ortak özelliklerini barındırırlar. İçten yanmalı motorların supap zamanlarının ayarlanması, talaşlı imalat tezgâhları, robotik ekipmanlar, doğru akım adım motoru ve servo motor uygulamaları, özel konveyör bantları gibi hassas pozisyonlama ve yüksek güç gerektiren sistemlerde kullanılmaktadırlar.

4.4. Özel Profilli Triger Kayışlar

Özellikle ürün taşıma uygulamalarına yönelik çeşitli diş profillerinin yanında çift taraflı diş ve/veya özel sırt kombinasyonları bulunan triger kayış tipidir. Sanayide ilaç dolum bantları, yiyecek taşıma ve dolum bantları gibi ürün pozisyonunun sabit tutulması gereken uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 4.3: Hassas ürün pozisyonlama ve ağır yük transferi için konveyör bandı[23]

5.TRİGER KAYIŞ SEÇİM HESAPLARI

Triger kayış ve kasnakları seçimi sistemin uzun süre, stabil, gürültüsüz ve emniyetli çalışması açısından büyük önem taşımaktadır. Sistemin güç ihtiyacını sağlayabilecek optimum kayış - kasnak seçimi için bazı parametrelerin önceden tespit edilmesi gerekmektedir. Bunlar aşağıdaki maddeler ile tanımlanmaktadır.

- 1- Gücün aktarılacağı sistemin güç ihtiyacı ve tipi
- 2- Gücü oluşturan sistemin devir hızı
- 3- Gücü kullanan sistemin devir hızı
- 4- Güç aktarıcı ve aktaran mekanizmaların merkez uzaklıkları
- 5- Sistemin günlük çalışma periyodu

Bu bilgiler ışığında aşağıdaki adımlarla triger kayış-kasnak kombinasyonu oluşturulmaktadır.

5.1. Kayış İşletim Faktörü

Kayış işletim faktörü, triger kayışın kullanılacağı sistemde maruz kalacağı yükler, taşıyacağı kuvvet, çalışma ortamı ve çalışma süresi gibi değişkenleri göz önünde bulundurarak sistem için gerekli en uygun ve ekonomik kayışın seçilmesine yardımcı olan bir emniyet katsayısıdır.

Katsayı, iletilecek gücü üreten sistemin tipi, gücün aktarılacağı sistemin tipi ve kayışın günlük çalışma periyodu göz önünde bulundurularak üretici firmaların oluşturduğu tablolardan seçilmektedir[21].

$$K = K_0 + K_1 + K_2 \quad (5.1)$$

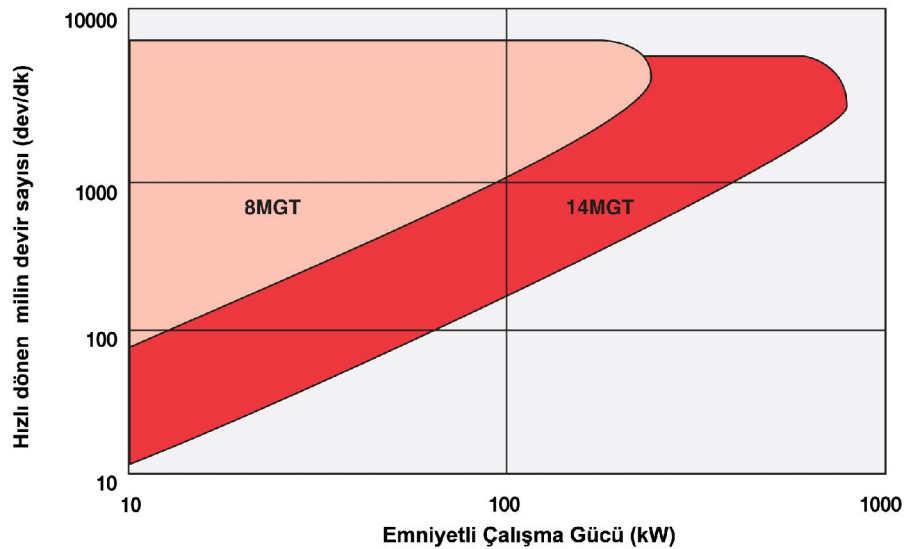
5.2. Emniyetli Çalışma Gücü

Emniyetli çalışma gücü kayış işletim faktörünün bir fonksiyonudur. Döndüren sistem tarafından üretilen gücün kayış işletim faktörü ile çarpımı ile elde edilmektedir. Kayış seçimi için yapılan hesaplamaların emniyetli çalışma gücü üzerinden yapılması gerekmektedir.

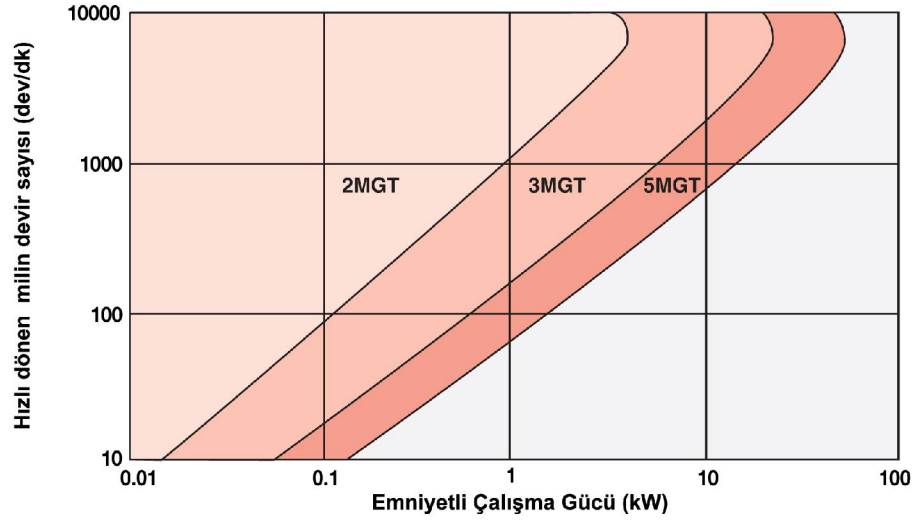
$$P_D = P.K \quad (5.2)$$

5.3. Kayış Tipi Seçimi

Kayış tipi üretici firmaların oluşturduğu tablolardan emniyetli çalışma gücü ve hızlı dönen, diğer bir deyişle küçük dişlinin devir sayısı ile orantılı olarak kataloglardan seçilmektedir. Kayış tipi aynı zamanda kayışın adımını da belirtmektedir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görüldüğü üzere devir sayısı düşey ekseninde, emniyetli çalışma gücü ise yatay ekseninde tanımlanmaktadır. Devir ve güç eksenlerinin kesiştiği nokta kayışın adım değerini belirtmektedir.



Şekil 5.1: Emniyetli çalışma gücü ve devir sayısına göre kayış adımı seçimi (8,14mm) [21]



Şekil 5.2: Emniyetli çalışma gücü ve devir sayısına göre kayış adımı seçimi (2,3,5mm) [21]

5.4. Çevrim Oranı

Çevrim oranı yüksek hızda dönen milin devir sayısının düşük hızda dönen milin devir sayısına bölümüyle elde edilmektedir.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{D}{d} \quad (5.3)$$

5.5. Dişli Kasnak Kombinasyonu ve Kayış Uzunluğu Seçimi

Sürücü ve sürülen dişli kasnak grubu, kayış tipine bağlı tablolardan, çevrim oranı, dişli kasnak çapları ve şaft çaplarına bağlı olarak seçilmektedir. Seçilen dişli kasnakların diş sayıları oranı çevrim oranını vermelidir. Ayrıca sistemin kurulduğu yerde kullanılacak maksimum kasnak çapları ve tahrik eden/edilen millerin çapları da göz önünde bulundurulmaktadır. Tablo 5.1'de triger kayış tipine göre kullanılacak standart dişli kasnak özelliklerinin belirtildiği tablo görülmektedir.

Tablo 5.1: Kayış tipine göre standart dişli kasnaklar ve özellikleri [21]

3MR

Kasnak Diş Sayısı	Dış Çap (mm)	Flanş Çapı (mm)	Maksimum Delik - (mm)			Sistem Genişlikleri - (mm)		
			Standart Kayış Genişliği (mm)			Standart Kayış Genişliği (mm)		
			6	9	15	6	9	15
10	8.79	13	3.5	3.5	3.5	17.5	17.5	26
12	10.70	15	5.0	5.0	5.0	17.5	17.5	26
14	12.61	16	6.0	6.0	6.0	17.5	17.5	26
15	13.56	17.5	7.0	7.0	7.0	17.5	17.5	26
16	14.52	18	5.5	5.5	5.5	20.6	20.6	26
18	16.43	19.5	6.5	6.5	6.5	20.6	20.6	26
20	18.34	23	8.0	8.0	8.0	20.6	20.6	26
21	19.29	25	9.0	9.0	9.0	20.6	20.6	26
22	20.25	25	9.0	9.0	9.0	20.6	20.6	26
24	22.16	25	9.0	9.0	9.0	20.6	20.6	26
26	24.07	28	10.0	10.0	10.0	20.6	20.6	26
28	25.98	32	11.0	11.0	11.0	20.6	20.6	26
30	27.89	32	12.5	12.5	12.5	20.6	20.6	26
32	29.80	36	13.5	13.5	13.5	20.6	20.6	26
36	33.62	38	15.0	15.0	15.0	22.2	22.2	30
40	37.44	42	16.5	16.5	16.5	22.2	22.2	30
44	41.26	48	20.0	20.0	20.0	22.2	22.2	30
48	45.08		20.0	20.0	20.0	22.2	22.2	30
60	56.54		20.0	20.0	20.0	22.2	22.2	30
72	67.99		20.0	20.0	20.0	22.2	22.2	30

Kayış uzunluğu seçilirken önceden belirlenen dişli kasnakların diş sayıları, çevrim oranı ve mil merkezleri arasında olması gereken uzaklık dikkate alınmaktadır. Tablo 5.2'de 3 mm adımlı kayışlar için kasnak eksenleri arası mesafe tablosu görülmektedir.

Tablo 5.2: Kasnak eksenleri arası mesafe tablosu [21]

Hız Oranı	Diş Sayısı		Teorik Merkez Uzaklığı (mm)									
	DriveR	DriveN	Kayış uzunluk kodu gösterimi (mm)									
			120	*135	150	165	180	195	210	*240	*270	300
1.90	21	40				35.6	43.3	50.9	58.5	73.7	88.8	103.9
2.00	10	20	37.2	44.7	52.3	59.8	67.3	74.8	82.4	97.4	112.4	127.4
2.00	12	24	32.5	40.1	47.7	55.2	62.7	70.3	77.8	92.8	107.8	122.9
2.00	14	28	27.7	35.4	43.0	50.6	58.1	65.7	73.2	88.2	103.3	118.3
2.00	15	30		33.0	40.6	48.2	55.8	63.3	70.9	86.0	101.0	116.0
2.00	16	32		30.5	38.2	45.9	53.5	61.0	68.6	83.7	98.7	113.7
2.00	18	36			33.4	41.1	48.7	56.3	63.9	79.0	94.1	109.2
2.00	20	40				36.2	44.0	51.6	59.2	74.4	89.5	104.6
2.00	22	44					39.1	46.8	54.5	69.7	84.8	99.9
2.00	24	48						41.9	49.7	65.0	80.2	95.3
2.00	28	56								55.4	70.7	86.0
2.00	30	60								50.5	65.9	81.2
2.00	32	64									61.1	76.5
2.00	36	72										66.8
2.00	40	80										
2.00	56	112										
2.08	72	150										
2.10	10	21	36.4	43.9	51.5	59.0	66.5	74.1	81.6	96.6	111.6	126.6
2.10	21	44					39.7	47.5	55.2	70.4	85.5	100.7
2.13	15	32		31.2	38.9	46.5	54.1	61.7	69.3	84.4	99.4	114.5
2.13	64	136										
2.14	14	30		33.6	41.3	48.9	56.5	64.0	71.6	86.7	101.7	116.7
2.14	28	60								51.7	67.3	82.6
2.17	12	26	30.8	38.4	46.0	53.6	61.1	68.7	76.2	91.3	106.3	121.3
2.18	22	48						43.2	51.0	66.3	81.6	96.7
2.20	10	22	35.5	43.1	50.7	58.2	65.8	73.3	80.8	95.8	110.9	125.9
2.20	20	44					40.4	48.1	55.8	71.1	86.2	101.4
2.22	18	40				37.5	45.3	53.0	60.6	75.8	90.9	106.0
2.25	16	36			34.7	42.4	50.1	57.7	65.3	80.4	95.5	110.6
2.25	32	72										69.4
2.25	40	90										
2.29	14	32		31.8	39.6	47.2	54.8	62.4	70.0	85.1	100.1	115.2
2.29	21	48						43.8	51.6	67.0	82.2	97.4
2.29	28	64									63.7	79.1
2.31	26	60								53.0	68.6	83.9
2.33	12	28	29.0	36.7	44.3	51.9	59.5	67.1	74.6	89.7	104.7	119.8
2.33	24	56								58.0	73.4	88.7
2.33	48	112										
2.34	64	150										
2.40	10	24	33.8	41.5	49.0	56.6	64.2	71.7	79.2	94.3	109.3	124.3
2.40	15	36			35.3	43.1	50.8	58.4	66.0	81.1	96.2	111.3
2.40	20	48						44.5	52.3	67.7	82.9	98.1
2.40	30	72									54.8	70.6
2.43	56	136										
2.44	18	44					41.6	49.4	57.1	72.4	87.6	102.7
2.50	12	30	27.1	34.9	42.6	50.3	57.9	65.4	73.0	88.1	103.1	118.2
2.50	16	40				38.8	46.6	54.3	61.9	77.1	92.3	107.4
2.50	24	60								54.3	69.9	85.3
2.50	32	80										61.7

Dişli kasnak merkezlerinin sabit olduğu uygulamalarda kayış uzunluğu (L);

$$L = 2C \sin \frac{\beta}{2} + \frac{\pi}{2} \left[(D+d) + \left(1 - \frac{\beta}{180} \right) \cdot (D-d) \right] \quad (5.4)$$

formülü ile elde edilmektedir. Burada sarma açısı (β),

$$\beta = 2 \cdot \cos^{-1} \left(\frac{D-d}{2C} \right) \quad (5.5)$$

formülü ile elde edilir.

5.6. Kayış Genişliğinin Seçimi

Sistemde kullanılacak triger kayışın genişliği küçük kasnağın diş sayısı ve devir sayısı ile bağlantılı olarak üretici firma kataloglarından seçilmektedir.

Belirli bir kayış tipi için, küçük kasnağın diş ve devir sayısı ile örtüşen güç değeri güç oranı tabloları yardımıyla bulunur. Küçük dişlinin devir sayısı tablolarda belirtilen devir sayıları ile örtüşmüyorsa, ara değerler için interpolasyon yapılarak örtüşen güç değerleri hesaplanır. Bu değer yine Tablo 5.3'te verilen kayış genişliği düzeltme faktörü ile çarpılarak elde edilen sonuç daha önce hesaplanan emniyetli çalışma gücü ile karşılaştırılır. Emniyetli çalışma gücüne eşit veya üzerinde güç değerini karşılayan kayış genişliği seçilir.

Tablolarda verilen güç oranları, dişli üzerinde, kayışın en az altı dişinin kavradığı varsayılarak oluşturulmuştur. Altı dişten daha az dişin kavradığı durumlarda tablodan elde edilen değerler Tablo 5.3'te belirtilen düzeltme katsayıları ile çarpılarak güç oranları hesaplanmaktadır. Diğer yandan örnek olarak 3mm adımlı kayış için iletebilecek güç aralığı Tablo 5.4'te ve kayış genişliği düzeltme faktörü Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.3: Kavrayan diş sayısına göre güç düzeltme faktörü[21]

Kavrayan diş sayısı	≥6	5	4	3	2
Düzeltilme faktörü	1	0.8	0.6	0.4	0.2

Kavrayan diş sayısı (KDS) aşağıdaki formül yardımıyla bulunabilir.

$$KDS = z_1 \left[0.5 - \frac{(z_2 - z_1)}{18.85 * z_c} \right] \quad (5.6)$$

Tablo 5.4: 3 mm adımlı kayış güç aralığı tablosu[21]

Hızlı milin devir sayısı (dev/dk)	Küçük kasnaktaki diş sayısı												
	16	18	22	26	30	34	38	44	52	56	62	72	80
	Kasnak adım çapı (mm)												
	15.28	17.19	21.01	24.83	28.65	32.47	36.29	42.02	49.66	53.48	59.21	68.75	76.39
20	7	8	10	12	14	16	18	21	25	26	29	34	38
40	12	14	18	22	26	29	33	39	46	49	55	63	70
60	17	20	26	31	37	42	48	55	66	71	78	91	101
100	27	32	41	49	58	66	75	87	103	111	123	143	158
200	49	57	74	90	106	122	137	160	190	205	227	262	291
300	69	81	105	128	151	173	195	228	270	291	322	373	413
400	88	103	134	164	193	222	250	292	347	374	413	479	530
500	105	124	162	198	234	268	303	354	420	452	501	579	641
600	122	145	188	231	273	314	354	413	491	529	585	677	749
700	139	164	214	263	310	357	403	471	559	603	667	772	854
800	155	183	239	294	347	400	451	527	626	675	747	864	956
900	170	202	264	324	383	441	498	582	692	745	825	954	1055
1000	185	220	288	354	419	482	545	636	756	814	901	1042	1153
1200	214	255	334	411	487	561	634	741	880	948	1049	1214	1342
1400	242	288	379	467	553	638	721	842	1001	1078	1193	1379	1525
1450	248	296	390	481	569	656	742	867	1030	1110	1228	1420	1570
1600	268	320	422	521	617	712	805	941	1117	1204	1332	1540	1702
1750	288	344	453	560	664	766	866	1013	1203	1296	1433	1657	1831
1800	294	351	464	573	680	784	886	1036	1231	1326	1467	1695	1874
2000	319	382	504	624	740	854	966	1130	1342	1446	1599	1847	2041
2400	366	440	583	722	858	990	1120	1310	1556	1676	1853	2139	2362
2800	411	495	658	816	970	1121	1268	1483	1761	1897	2096	2419	2668
3200	454	547	730	906	1078	1246	1410	1650	1959	2109	2330	2685	2960
3600	495	598	799	994	1183	1367	1548	1810	2149	2313	2554	2941	3239
4000	534	647	866	1078	1284	1485	1681	1966	2332	2510	2770	3186	3505
6000	709	866	1171	1465	1749	2024	2290	2675	3163	3396	3733	4262	4653
8000	858	1056	1438	1805	2156	2495	2820	3284	3861	4131	4514	5090	5493
10000	985	1221	1674	2106	2516	2907	3279	3801	4431	4717	5109		
12000	1096	1366	1884	2371	2831	3264	3670	4226	4870				
14000	1191	1493	2068	2605	3104	3567	3992	4557					

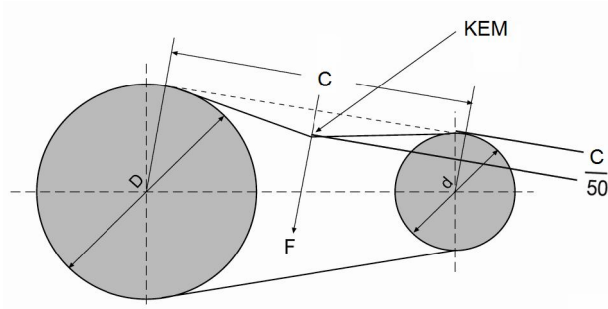
Tablo 5.5: Kayış genişliği düzeltme faktörü[21]

Kayış genişliği düzeltme faktörü							
Kayış genişliği (mm)	3	6	9	12	15	20	25
Genişlik faktörleri	0.30	0.62	1.00	1.45	1.89	2.64	3.38

Yapılan hesaplamalar ve standart tablolar yardımıyla sistemin ihtiyacını karşılayabilecek triger kayışın adımı, genişliği, uzunluğu ile birlikte çeviren ve çevrilen dişli kasnakların diş sayıları tayin edilmiş olmaktadır.

5.7. Kayış Gerginliği

Triger kayışlar kullanıldıkları sistemin durumuna göre belirli ön gerilme altında çalışması gerekebilmektedir. Dişli kasnak merkezleri arasındaki mesafenin kısalığı ve kasnak çaplarının etkisi ile kayışın gerekli tansiyonu oluşturamadığı durumlarda gergi mekanizması yardımıyla, kayışın, belirli bir ön gerilme ile yüklenmesi gerekmektedir(Şekil 5.3). Kayışın gerekli ön gerilme altında bir gergi kuvveti ile çalışması durumunda kayış üzerinde aşırı titreşimler meydana gelmekte ve kayış aşırı titreşimli bir şekilde çalışmaktadır. Ön gerilmenin fazla olduğu durumlarda ise kayış dişleri ile kasnak dişleri arasında sürtünme kuvvetleri artmakta, kayış dişeri kasnak dişleri üzerine tırmanma eğilimi göstermekte ve aşınmalar hızlı bir şekilde artarak kayış ömrü kısalmaktadır.[21]



Şekil 5.3: Gergi kuvveti ve eğilme miktarı

Üretici firmalar tarafından tavsiye edilen maksimum kurulum gerginliği (T_{st}), emniyetli çalışma gücü (P_D) ve kayış hızının (v) bir fonksiyonu olarak,

$$T_{st} = 600 \frac{P_D}{v} \quad (5.7)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Kayış hızı ise,

$$v = \frac{p \cdot z_1 \cdot n_1}{60000} \quad (5.8)$$

formülü ile elde edilmektedir. Burada p kayıştaki diş adımı, z_1 küçük kasnaktaki diş sayısı ve n_1 ise küçük kasnağın devir sayısıdır.

Kayışa uygulanacak maksimum gergi kuvveti,

$$F_{maks} = \frac{P \cdot 60}{v} \quad (5.9)$$

ve minimum gergi kuvveti,

$$F_{min} = \frac{P \cdot 25}{v} \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Kayış eğilme miktarı (KEM),

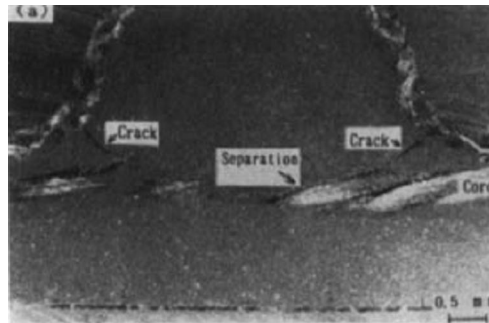
$$KEM = \frac{C}{50} \quad (5.11)$$

Çalışma esnasında kayışlar, yüklendikleri gergi kuvveti ile orantılı olarak belirli bir frekansta ses dalgaları üretmektedirler. Bu ses dalgalarının frekansının analiz edilmesi ile kayışın gergi kuvveti tayin edilebilmektedir. Bu bağlamda kayışların gergi kuvveti kontrolleri sonik tansiyon ölçerler ile yapılmaktadır[21].

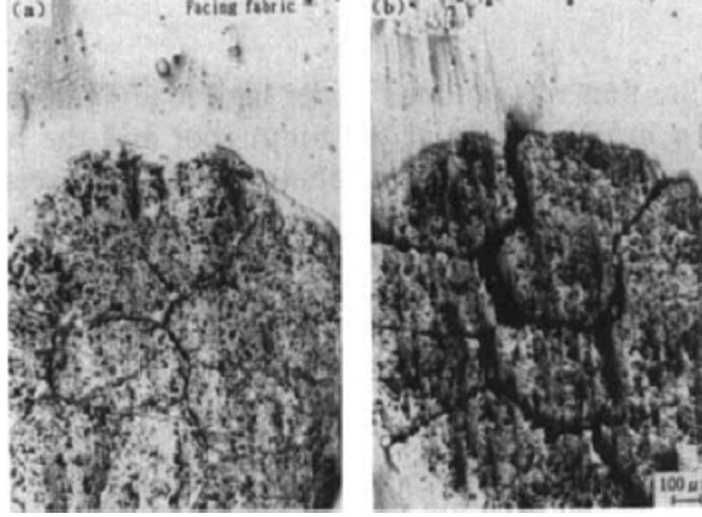
6. TRİGER KAYIŞLARDA OLUŞAN HASARLAR VE ETKİLERİ

Triger kayışlarda kuvvet ve hareket iletimi dişliler ve kayış üzerindeki dişlerin etkileşimi ile tayin edilmektedir. Ani ve aşırı yüklenmeler altında oluşan iç gerilmelerin normal kayış kasnak mekanizmalarında olduğu gibi kayma, kaçırma yoluyla sönmülmesi mümkün olmamaktadır. Ayrıca, tekrarlanan yükler altında kauçuğun elastik yapısı nedeniyle gösterdiği davranışın ve üzerindeki yük dağılımlarının karmaşıklığından dolayı aşırı yüklenmeleri sönmülemeye yönelik tedbirlerin alınması mümkün olmamaktadır.

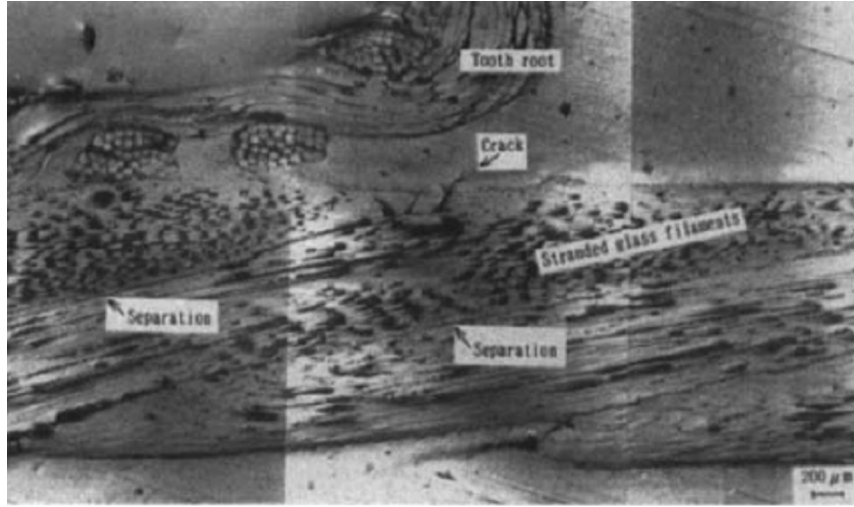
Yapılan deneysel çalışmalar doğrultusunda triger kayışlarda temel olarak yorulma temelli iki çeşit hasar tipi olduğu görülmektedir. Birincisi dişlerin her iki tarafında diş köklerinde başlayarak iç kauçuk katmana doğru yayılan hasarlardır. Ağır yükleme şartları altında diş diplerinin yanal yüzeylerinde çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu çatlaklar iç kauçuk katmana doğru yayılmaktadır(Şekil 6.1). Diğer hasar tipi ise yük taşıyıcı eleman olan fiber liflerde oluşan ayrılmalardır(Şekil 6.2). Bu ayrılmalar aynı zamanda kauçuk katman ile fiber lifler arasında da görülmektedir. Lifler kauçuk katman içerisinde temas yüzeyleri boyunca ayrılmaya başlamakta ve ayrılma bölgelerinin sonlarına doğru çatlaklar oluşmaktadır(Şekil 6.3). Bu çatlaklar kayışın dış katmanlarına doğru yayılmaktadır. Diş diplerinde oluşan çatlaklarla karşılaştırıldığında liflerdeki ayrılma nedeniyle oluşan hasarların daha az olduğu görülmektedir[6].



Şekil 6.1: Diş dibi çatlakları[6]



Şekil 6.2: Liflerde oluşan ayrılmalar[6]



Şekil 6.3: Lif ayrılma bölgeleri sonlarında oluşan çatlaklar.[6]

Yorulma etkisiyle oluşan hasarlar dışında triger kayışlarında hasar oluşumuna sebebiyet veren çeşitli etkenler de söz konusudur. Hatalı gergi kuvveti, arızalı gergi mekanizması, hatalı kayış yerleşimi, aksel kaçıklıklar, ısı ve yabancı madde etkileri, hasarlı dişli kasnaklar, kayış üzerine dökülen kimyasal maddeler (Soğutma sıvısı, yağ vb.) triger kayışlarının hızlı bir şekilde aşınmasını sağlayan faktörlerdir.

Triger kayışları güç iletimi anında kendilerini sıkı, sıkıştırıcı bir çalışma karakteristiği göstermektedirler. Bu karakteristik diş profillerinden bağımsız olarak her tür triger kayışı için geçerlidir. Kendisini sıkma eğilimi rulmanlar üzerinde ve miller üzerinde aşırı yüklenmelere neden olmakta ve kayış ömrünün kısalmasını

sağlamaktadır. Bu etki, kayış üzerine uygun gergi kuvvetleri uygulanarak giderilebilmektedir. Aşırı geri kuvveti uygulanan triger kayışları, kayışın ömrünü kısaltan büyük rulman ve mil yüklerine sebebiyet olurken, düşük miktarda gergi kuvveti uygulanan kayışlar kendini sıkma eğilimi göstermektedirler. Kayış taşıdığı yüke oranla aşırı gevşek olduğu durumlarda kendini sıkma karakteristiğinden dolayı, dişleri, kasnak dişleri üzerine tırmanma eğilimi göstermektedir. Böylece kayış dişlerinde gerilmeler artmakta, aşınma süreçleri hızlanmakta ve kayış ömrü kısalmaktadır[21]. Dolayısıyla hatalı gergi kuvvetleri nedeniyle dişlerde çatlaklar, kırılmalar, kayış sırtında aşınma ve çatlaklar gibi hasarlar görülebilmektedir.

Yüksek sıcaklık, kayış üzerinde oluşan hasarların sebeplerinden biridir. Çalışma ortamında oluşan aşırı ısı zaman içerisinde kayışın malzeme yapısının bozulmasına sebep olmaktadır. Zaman içerisinde bozulan malzeme yapısıyla meydana gelen iç gerilme farklılıkları kayış üzerinde çatlakların oluşmasına sebep olarak ömrünü kısaltmaktadır.


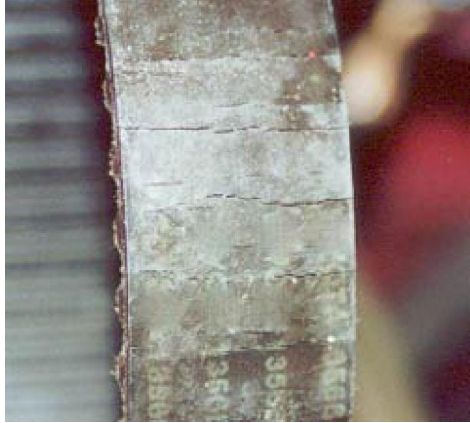
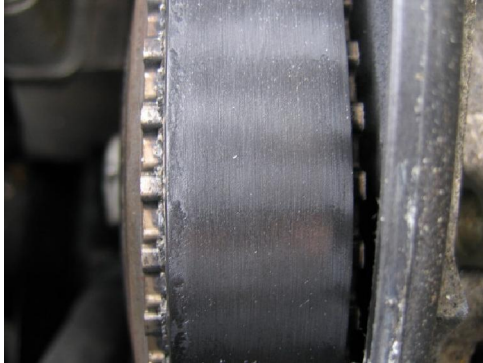
Zaman içerisinde triger kayışın ortak olarak çalıştığı mekanizmalarda oluşan hasarlar kayışın zarar görmesine neden olabilmektedir. Millerde oluşan eğilmeler, dişli kasnak yüzeylerinin aşınması, gergi mekanizmalarında oluşan arızalar gibi etkenler nedeniyle kayış üzerindeki gerilimler ve yük dağılımları dengesizleşmekte ve kayışın hızlı bir şekilde aşınmasına sebep olmaktadır.

Hatalı montaj triger kayışın hasar görmesini sağlayan etkenlerden bir diğeridir. Montaj esnasında kayışın diğer mekanizma parçaları ile hatalı etkileşimi nedeniyle oluşan hafif yırtılma ve kopmalar gibi küçük hasarlar, ağır yüklemelerde kayışın yıpranma sürecini ivmelendirebilmektedir. Bununla birlikte kayış yakınında yerleşmiş çeşitli yapıların, çalışma esnasında kayışa sürtmesi nedeniyle hızlı bir aşınma süreci söz konusu olabilmektedir[24].



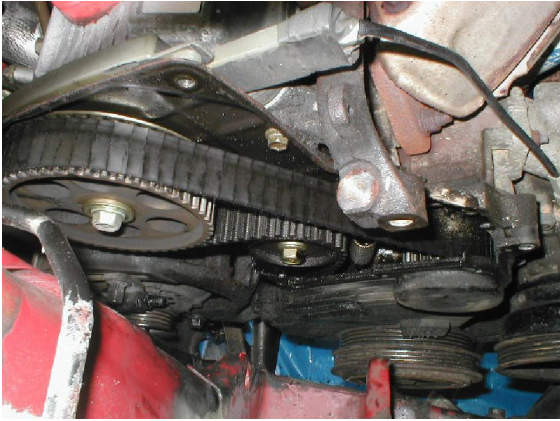
Hasarı tetikleyen etkenlerden bir diğeri de triger kayışın yabancı maddeler ile etkileşimidir. Çalışma ortamında bulunan ve çalışma esnasında dişli kasnak ile kayış arasına giren çeşitli yapılar kayışın aşınması, yırtılması veya kopmasına neden olabilmektedirler. Bununla birlikte sistemde oluşan yağ ve soğutma sıvısı kaçaqları

nedeniyle kayışın kirlenmesi zaman içerisinde kayışın malzeme yapısının bozulmasını sağlayarak kayış üzerinde şişme ve kabartıların oluşmasına sebep olabilmektedir. Diğer yandan Tablo 6.1’de triger kayışlarındaki genel hasar tipleri ve oluşum sebepleri tablo listesi biçiminde gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Triger kayışlarındaki genel hasar tipleri ve oluşum sebepleri

Hasar Tipi	Hasarlar	Sebepler
Çatlak diş dibi veya kırık diş		Yorulma, gergi mekanizmasının etkisini kaybetmesi
Arka yüzeyde oluşan çatlaklar		Gergi mekanizması arızaları, aşırı yükselmiş motor ısı, kapak ile sürtünme
Yanal yüzey çatlakları		Uygun yerleşmemiş kayış, aşırı yüklenme, eğilmiş veya hatalı hizalanmış mekanizma parçaları

Tablo 6.1: (Devam) Triger kayışlarındaki genel hasar tipleri ve oluşum sebepleri

<p>Dişlerin aşınması</p>		<p>Zayıf kapak bağlantısı, aşırı gergi kuvveti, pürüzlü, hasarlı dişliler</p>
<p>Fiberler doğrultusunda kopma</p>		<p>Bükülme, montaj sırasında veya öncesinde eğilme, kayış altına yabancı cisimlerin girmesi</p>
<p>Kayışın yağlanması veya soğutma sıvısına maruz kalması</p>		<p>Zayıf yağ keçeleri, soğutma sıvısı sızıntıları ve hatalı kapak montajı</p>

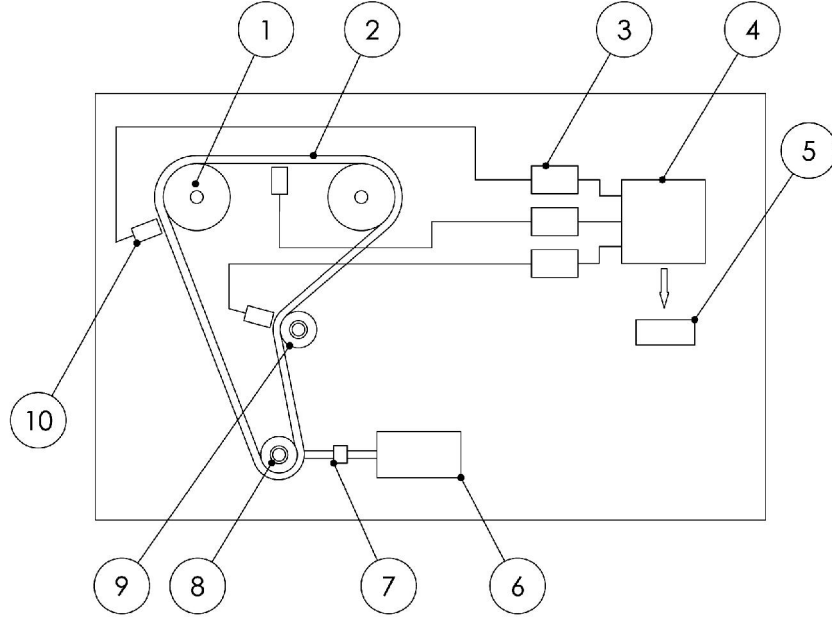
7. TRİGER KAYIŞLARINDA OLUŞAN HASARLARIN ÇALIŞMA ANINDA TESPİT EDİLMESİ

7.1. Deney Tertibatı

Bu çalışmada, triger kayışlarında oluşan belirli hasar türlerini tespit etmeye yönelik bir sistem tasarımı yapılmış ve deneysel olarak uygulanmıştır. Tasarlanan sistem triger kayışlarında oluşan diş yırtılması, diş kopması ve liflerin ayrılması hasar türlerini tespit ederek sürücüye hasar ile ilgili bir uyarı sinyali göndermektedir.

Hasar algılama sistemi, tasarımı yapılan lazer sensörler ile hareket halindeki triger kayışı izlemektedir. Kayış üzerinde hasar oluşması durumunda sensörler tarafından oluşturulan sinyal kontrol biriminde değerlendirilmekte ve uyarı sinyali üretilmektedir. Bu amaçla kurulan deney düzeneğinin genel şematik yapısı Şekil 7.1'de görülmektedir.

Şekil 7.1'de görüldüğü gibi deney setinde triger kayış yerleşim şekli içten yanmalı motorlarda uygulanan yerleşim şekli esas alınarak yapılmıştır. Triger kayış üzerindeki belirli konumlardan lazer sensörler yardımıyla hasar durumlarının tespiti yapılmıştır. Bu konumlar tekrarlanabilirliği tedarik etmek gayesi ile olağan dışı hareketlerin kayış üzerinde oluşmadığı bölgelerden seçilmiştir. Böylece diş dibi yırtılmalarının tespiti için diş sayımının düzgün olarak yapılabileceği bölge olarak gergi kasnağına kayışın sırtından temas ettiği bölge seçilmiştir. Bu bölgede kayışın kasnağa sarılmış olmasından dolayı kayışta herhangi bir titreşim olmayacağı ve merkez kaç kuvvetinden dolayı dibi yırtılmış olan dişlerin hasarsız normal dişlere nazaran daha yüksek bir yörüngeden geçeceği göz önüne alınmıştır. Diğer yandan kayış yan kenarlarında ve kayış sırtında oluşabilecek lif ayrılmaları ile diş kopması hasarını gözlemlmek için ise kayışın dişli kasnağa sarıldığı bölgeye sensörün yerleştirilmesi uygun görülmüştür.



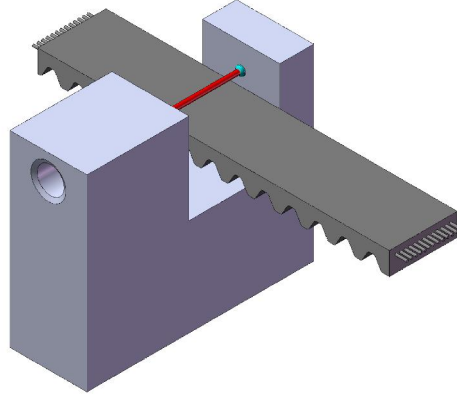
Şekil 7.1: Deney tesisat şeması

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1-Kam dişli kasnağı | 6- Elektrik motoru |
| 2-Triger kayış | 7- Kaplin |
| 3-Sinyal şekillendirici | 8- Krank dişli kasnağı |
| 4-Kontrol birimi | 9- Gergi mekanizması |
| 5-Gösterge | 10-Lazer sensör |

Yapılan çalışmada deney numunesi olarak OEM triger kayış setleri kullanılmıştır. Numuneler 8 mm adımlı, 30 mm genişliğinde, geliştirilmiş eğrisel diş profiline sahip triger kayışlardır. Sistem 12 V'luk gerilimle çalışan, 400 W gücünde ve 4000 dev/dk'lık Kormas marka bir elektrik motoruyla tahrik edilmiştir. Sistemde krank mili dişli kasnağı olarak 60 mm çapında 8 mm adımlı bir dişli kasnak, kam mili kasnakları olarak 120 mm çapında 8 mm adımlı iki adet dişli kasnak ve 60 mm çapında bir adet gergi kasnağı kullanılmıştır. Elektrik motoru krank mili kasnağına bir kaplin aracılığı ile bağlanmıştır. Sistem elektrik motoru ile krank mili kasnağı üzerinden tahrik edilmektedir. Sistemde liflerin ayrılması, diş yırtılması ve diş kopması olmak üzere üç farklı hasar tipi algılanmaktadır.

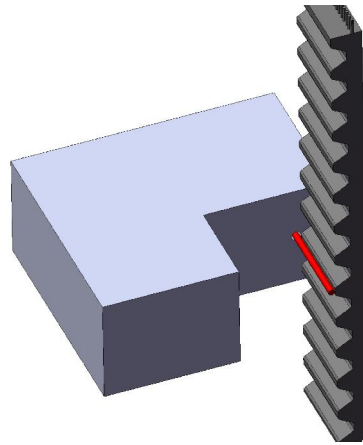
Liflerin ayrılması hasar tespiti için lazer sensör triger kayışın dönüş yönünde kam mili dişli kasnağından kayışın ayrıldığı noktaya yerleştirilmiştir. Kayışın sırt ve yan

bölgelerinde görülen ayrılmış liflerin sensörden gönderilen lazer ışını kesmesi ve bu kesintilerin yoğunluğunun belirlenen değeri aşp aşmadığının kontrolü prensibiyle hasar algılaması yapılmaktadır(Şekil 7.2).



Şekil 7.2: Liflerin ayrılması hasarı tespiti

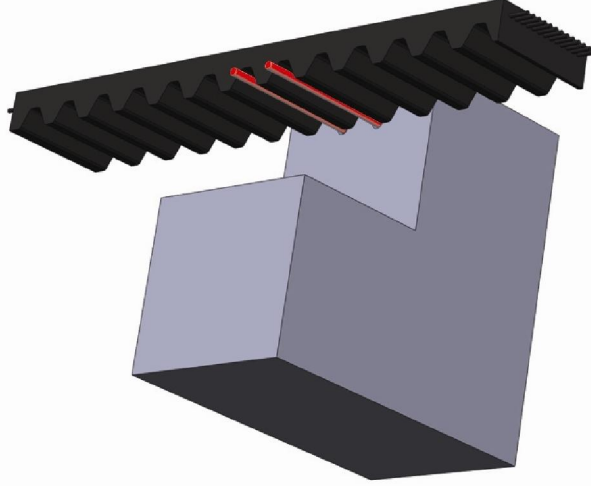
Diş yırtılması hasar tespiti için lazer sensör, triger kayışın gergi makarası üzerinden geçerken oluşturduğu konkav eğri üzerine yerleştirilmiştir. Yırtılan dişin gergi kasnağı üzerinden geçerken merkezkaç kuvvetiyle kayış tabanından uzaklaşarak lazer ışının kesmesi sonucu hasar algılanmaktadır(Şekil 7.3).



Şekil 7.3: Diş yırtılması hasarı tespiti

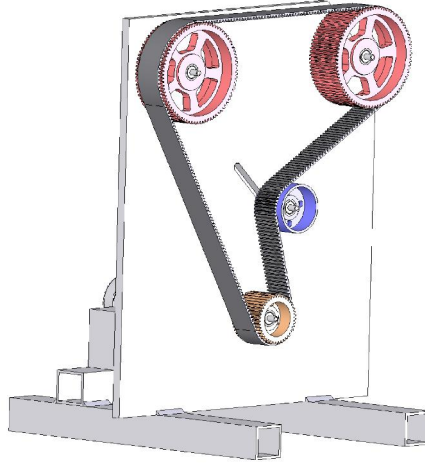
Diş kopması hasar tespitinde iki lazer sensör birbirinden kayış adımı kadar aralıkta, kam mili dişli kasnakları arasındaki bölgede, triger kayışın ilk kam mili dişli kasnağından ayrıldığı noktada, kayışın diş yüksekliğinin yarısı kadar mesafede ve kayışı enine doğrultuda kesecek şekilde yerleştirilmiştir. Belirli bir anda, iki sensörün

de diş dolusu veya diş boşluğuna denk gelmesiyle sağlam bir kayıştan elde edilecek sinyallerin aynı olması ve diş kopması durumunda bu iki sinyal arasında oluşacak farklılığın algılanması prensibiyle hasar tespiti yapılmaktadır(Şekil 7.4).



Şekil 7.4: Diş kopması hasarı tespiti

Deney setinin tasarımı için SOLIDWORKS üç boyutlu katı modelleme yazılımı kullanılmıştır. Deney tertibatında kullanılan gövdenin, dişli kasnakların, millerin, rulmanların, triger kayışın, gergi kasnağının, motorun ve kaplinin 3 boyutlu katı modelleri oluşturularak sistemin konstrüksiyonu Şekil 7.5’de görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Sistemin tasarımından sonra deney tertibatını titreşimlere sebep olmaması için 20 mm kalınlığında 470 mm yüksekliğinde 390 mm genişliğinde çelik plaka üzerine elemanların yerleştirilmesi ile hazırlanmıştır. Şekil 7.6’da deney tertibatının fotoğraf görüntüsüne bakıldığı zaman kam mili kasnakları üst bölgeye krank mili kasnağı ise alt bölgeye yuvarlanmalı yatakla bağlanmıştır. Kayışın nominal çalışma gerginliğini sağlamak için ise gergi kasnağı eksen değişimine imkan sağlayan kanal içerisine yerleştirilen kayar yatakla bağlanmıştır. Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’de ise sensörün yerleşim biçimi fotoğraf görüntüsü olarak görülmektedir. Diğer yandan krank milini temsil eden tahrik kasnağına bağlı mil ise 0-4000 dev/dak aralığına hız ayar kontrollü motora elastik kaplinle bağlanmıştır. Hasar algılayıcı sensörlerin çıkışı kontrol birimi ve buradan da görüntü paneline aktarılacak biçimde bağlantılar yapılmıştır.



Şekil 7.5: Deney tertibatının üç boyutlu görünüşü



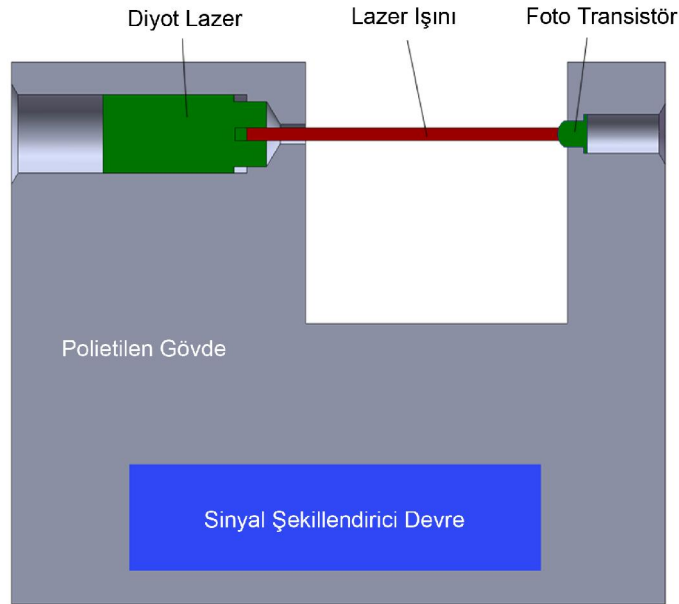
Şekil 7.6: Algılayıcı sensörün diş dibi yırtılması hasarının algılanması için yerleşim biçimi



Şekil 7.7: Algılayıcı sensörün kayış yanaklarındaki ve sırtındaki lif kopması ile diş kopması hasarlarının algılanması için yerleşim biçimi

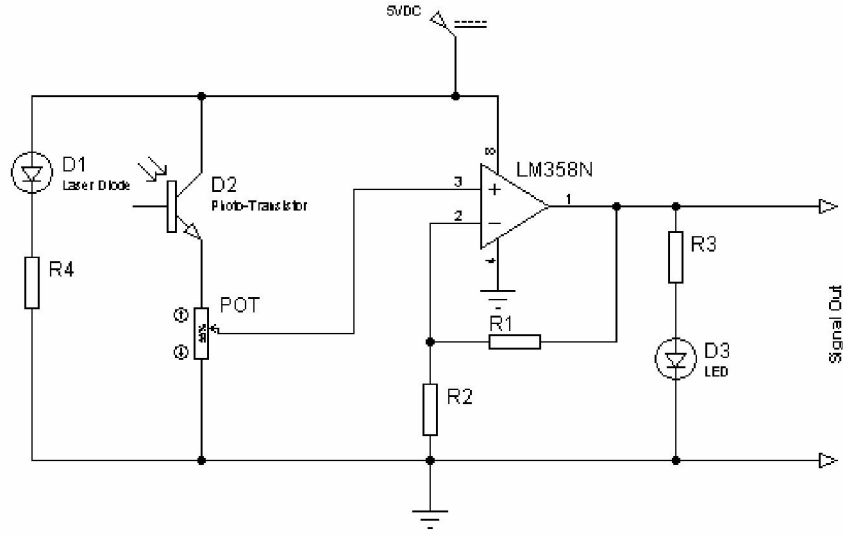
7.2. Lazer Sensör ve Sinyal Kuvvetlendirici Devre

Sistemde, triger kayışta oluşan hasarları algılamak için tasarlanmış, prensip şeması Şekil 7.8’de görülen bir lazer sensör kullanılmaktadır. Hasar algılamada kullanılan lazer ışını 650 nm dalga boyunda, görünür kırmızı ışık bölgesine yakın yayılım yapan, 1 mW’tan düşük güçlü, 1. sınıf bir yarı iletken diyot tarafından oluşturulmaktadır. Algılayıcı olarak BP 103-5 model bir NPN foto-transistör kullanılmaktadır. Lazer kaynağı ve foto-transistör, polietilenden işlenmiş bir gövde üzerinde karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Lazer ışını 0,6 mm çapında bir delikten geçirilerek foto-transistör üzerine düşürülmektedir.



Şekil 7.8: Lazer sensör prensip şeması

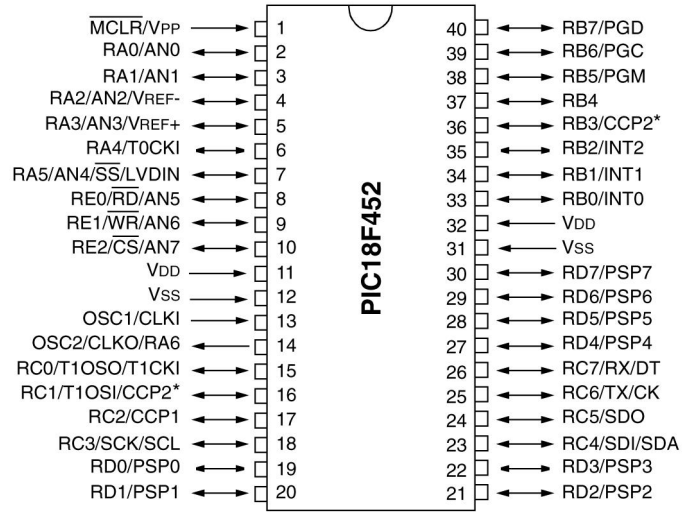
Sinyal kuvvetlendirici devre, lazer ışınlarının herhangi bir kayış hasarı nedeniyle kesilmesi durumunda foto-transistör üzerinde oluşan değişimleri algılayarak çıkış üretilmesini sağlayan devredir. Devre, bir işlemsel kuvvetlendiricinin evirmeyen yükseltici olarak kullanılmasıyla foto-transistör üzerinde oluşan gerilim değişimleri doğrultusunda 0V veya 5V sinyal çıkışı sağlamaktadır. Üzerindeki trimpot yardımıyla hassasiyeti ayarlanabilmektedir. Şekil 7.9 ‘da sinyal kuvvetlendirici devre şeması görülmektedir.



Şekil 7.9: Sinyal kuvvetlendirici devre.

7.3. Kontrol Birimi

Sistemde, sensörlerden alınan bilgiyi değerlendirerek kayış üzerinde bahsi geçen hasarların oluşup oluşmadığını algılayarak sürücüyü uyararak için mikro denetleyici tabanlı bir kontrol birimi tasarlanmıştır. Sensörlerden alınan bilgi, tasarlanan yazılım sayesinde, mikro denetleyici tarafından değerlendirilerek, hata durumları, bir likit kristal grafik ekran (GLCD) yardımıyla kullanıcıya görsel olarak bildirilmektedir. Kontrol birimi, yaygın bir şekilde kullanılması ve oldukça düşük maliyetli oluşundan ötürü Microchip firmasının PIC serisi 18F452 model numaralı mikro denetleyicisi kullanılarak tasarlanmıştır.



Şekil 7.10: PIC 18F452 Mikro denetleyici portları.

PIC18F452 Mikro denetleyicinin genel özellikleri,

- Yüksek performanslı RISC işlemci
- 40 MHz'ye kadar işlemci hızına sahiptir
- 32 Kbyte flash bellek
- 256 byte eeprom bellek
- 1536 byte On-Chip RAM bellek
- 16 bit zamanlayıcı ve sayıcılar
- Power-on Reset (POR), Power-up Zamanlayıcı (PWRT)
- Watchdog Zamanlayıcı (WDT)
- 10 bit analog/dijital çevirici
- Programlanabilen kod koruma
- Enerji tasarrufu için uyku (SLEEP) modu
- Devre üzerinde seri programlama
- 5 V'luk kaynak ile çalışma
- Düşük güç harcama

A portu 6 giriş/çıkışa sahiptir (RA0-RA5). Analog/dijital çevirici girişi olarak veya dijital giriş/çıkış olarak kullanılabilir.

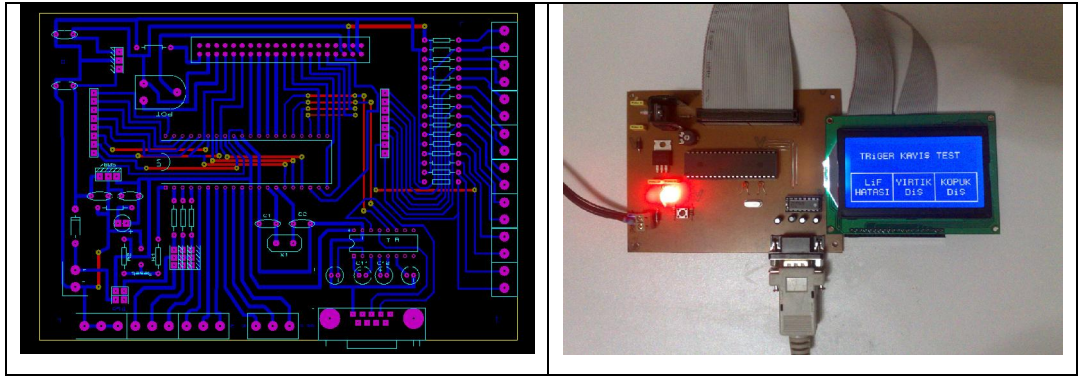
B portu 8 giriş/çıkışa sahiptir (RB0-RB7). Bu portun 0,1,2 nolu pinleri harici kesme girişi olarak kullanılabilir.

C portu 8 giriş/çıkışa sahiptir (RC0-RC7). Pwm, capture/compare, spi ve bilgisayar ile seri iletişim kurma gibi işlevleri vardır.

D portu 8 giriş/çıkışa sahiptir (RD0-RD7). Paralel slave port ile mikro denetleyici haberleşme portu olarak kullanılabilir.

E portu 3 giriş/çıkışa sahiptir (RE0-RE2). Analog/dijital çevirici veya dijital giriş/çıkış olarak kullanılabilir[25].

Kontrol biriminin elektronik devre tasarımı Labcenter Electronics firmasının Proteus ARES programı kullanılarak yapılmıştır. Devre üzerinde kontrol işlemlerini gerçekleştiren mikro denetleyicinin yanında, dijital giriş ve çıkış birimleri, likit kristal grafik ekran için gerekli gerilimi sağlayan regülatör devresi, kontrast ayarı için trimpot, GLCD ile haberleşme portu ve reset devresi bulunmaktadır. Şekil 7.11’de kontrol birimi olarak tasarlanan devre gösterilmiştir.

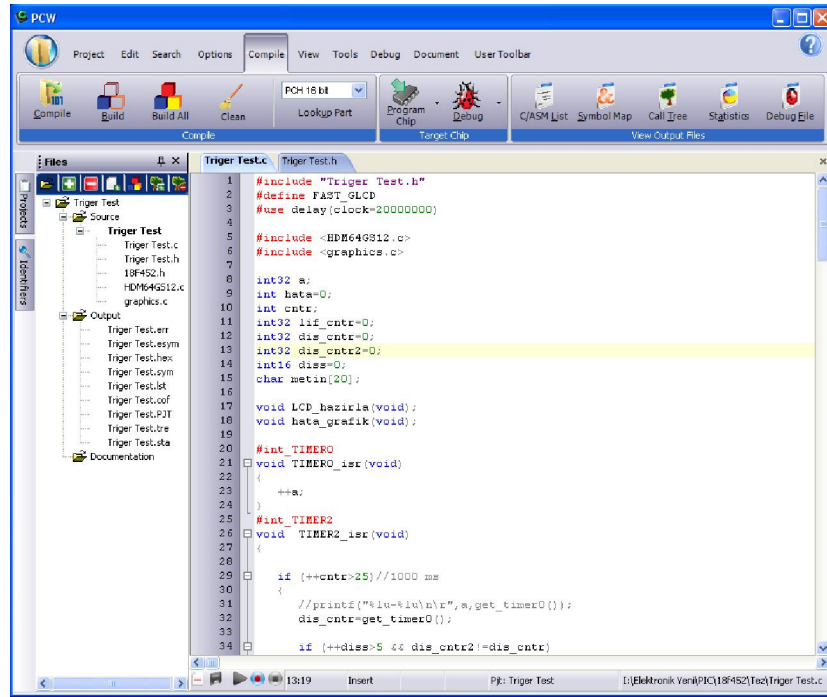


Şekil 7.11: Kontrol birimi devre tasarımı

7.4. Kontrol Yazılımı

Triger kayışlarda oluşan hasarları algılanması, kontrol biriminin sensörlerden gelen bilgileri analiz etmesi için mikro denetleyici üzerinde çalışan bir yazılım tasarımı yapılmıştır. Yazılım C programlama dili kullanılarak hazırlanmıştır.

Yazılımın hazırlanması ve derlenmesi aşamasında CCS firması tarafından PIC serisi mikro denetleyiciler için geliştirdiği PIC-C derleyicisi kullanılmıştır. Bu derleyicinin bünyesindeki hazır kütüphaneler, PIC mikro denetleyicinin analog/dijital çeviricileri, sayıcıları, karşılaştırıcıları, haberleşme birimleri, giriş çıkış birimleri gibi çeşitli donanımlarına kolayca ulaşılmasını sağlayan özel fonksiyonların var olması nedeniyle PIC-C tercih edilmiştir. Ayrıca C programlama dilinin üstünlüklerini, rahat kullanım sağlayan program ara yüzü, yardımcı programlama araçları ve geniş örnek kütüphanesi ile birleştirerek hızlı ve etkin bir yazılım geliştirme platformu sunduğu için bu derleyici kullanılmıştır.



```
1 #include "Triger Test.h"
2 #define FAST_GLCD
3 #use delay(clock=20000000)
4
5 #include <HD646812.c>
6 #include <graphics.c>
7
8 int32 a;
9 int hata=0;
10 int cnt;
11 int32 lif_cnt=0;
12 int32 dis_cnt=0;
13 int32 dis_cnt2=0;
14 int16 dis=0;
15 char metin[20];
16
17 void LCP_hazirla(void);
18 void hata_grazik(void);
19
20 #int_TIMER0
21 void TIMER0_isr(void)
22 {
23     ++a;
24 }
25 #int_TIMER2
26 void TIMEF2_isr(void)
27 {
28
29     if (++cnt>25)//1000 ms
30     {
31         //printf("%lu-4lu\n", a, get_timer0());
32         dis_cnt=get_timer0();
33
34         if (++dis>5 && dis_cnt2!=dis_cnt)
```

Şekil 7.12: CCS PIC – C Derleyicisi ara yüzü

Kontrol yazılımının C programlama dili kodları ve fonksiyon açıklamaları Ek-1’de görülmektedir. Yazılım, mikro denetleyicinin harici donanımsal kesmeleri yardımıyla sensörlerden gelen sinyalleri izlemektedir. Herhangi bir hasar algılandığı durumda “hata” değişkeni oluşan hasara ait bir değer almaktadır.

Ana program fonksiyonunda öncelikle mikro denetleyicinin genel donanımsal özellikleri tanımlandıktan sonra GLCD ekranına “LCD_hazirla();” fonksiyonu ile görüntünün genel çerçevesini hazırlanmaktadır. Sonrasında yazılım sonsuz döngü içerisine girmekte ve sürekli olarak “hata” değişkeni değerinin 0’dan farklı bir değer olup olmadığını izlemektedir. “Hata” değişkeni içeriği 0 ‘dan farklı ise “hata_grafik();” fonksiyonu işletilmekte ve ardından değişkenin içeriği 0 ‘a eşitlenmektedir.

Yazılımda, mikro denetleyicinin genel donanımsal özellikleri tanımlanırken kullanılan modüllerin ne şekilde çalışacakları belirlenmiştir. Kullanılmayan modüller ise denetleyiciye gereksiz yük getirmemeleri için devre dışı bırakılmışlardır. Bu nedenle analog/dijital çevirici, PSP, SPI, WDT, zamanlayıcı_1 ve zamanlayıcı_3 birimleri devre dışı bırakılmıştır. Zamanlayıcı_2 birimi ise 8 ms ‘lik periyotlarda taşma kesmesi üretecek şekilde programlanmıştır. “Harici_kesme_0” ve “harici_kesme_1” birimleri sensörlerden gelen sinyallerin yükselen kenarları ile aktif olacak şekilde programlanılmışlardır. Ayrıca denetleyicinin B portundan sadece sinyal girişi yapılacağı için bütün pinleri giriş olarak tanımlanmış ve bu portun daha hızlı işlem yapabilmesini sağlamak için gerekli komutlar kullanılmıştır.

Mikro denetleyicinin donanımsal özellikleri ayarlandıktan sonra “glcd_init(ON);” fonksiyonu ile glcd’nin aktif olması sağlanmakta ve ardından Glcd’nin gönderilen komutları uygulayabilmesi için gereken 100 ms’lik gecikmeyi sağlamak için “delay_ms(100);” komutu işletilmektedir.

Glcd için gereken hazırlıklar yapıldıktan sonra “LCD_hazirla();” fonksiyonu işletilerek ekran üzerinde kayışta oluşan hasarların gösterilebilmesi için gerekli bölümler oluşturulmaktadır (Şekil 7.13). Fonksiyon içerisinde öncelikle “glcd_text57(10,10,metin,1,ON);” komutuyla ekrana “Triger Kayış Test”

yazdırılmaktadır. Ancak bundan önce tanımlanmış “metin” karakter dizisi içeriği “sprintf(metin,"TRiGER KAYIŞ TEST");” komutuyla “Triger Kayış Test” olarak değiştirilmektedir. Sonrasında “glcd_rect(0,32,127,63, NO, ON);” komutu ile ekranın yarısından itibaren içi boş bir dikdörtgen çizdirilmekte ve “glcd_line” komutu ile iki düşey çizgi çizdirilerek dikdörtgen 3 parçaya bölünmektedir. Bu bölümler içerisine lif hatası, yırtık diş ve kopuk diş yazıları yazdırılarak Glcd’nin hasarları gösterecek şekilde hazırlanması sağlanmaktadır.



Şekil 7.13: Grafik LCD hazırlanması

Triger kayışta oluşan hasarların algılanması ile “hata” değişkeninin içeriği değişmekte ve ana program içerisindeki sonsuz döngüde bulunan “hata_grafik();” fonksiyonu işletilmektedir. Bu fonksiyon içerisinde, oluşan hata türüne göre, farklı kodlar işletilerek Glcd üzerinde o hata ile ilgili bölüm değiştirilmektedir. Fonksiyon içerisinde öncelikle “switch(hata)” komutu ile “hata” değişkeni içeriği kontrol edilmekte ve oluşan hasar türüne göre bu değişkenin aldığı değer ile ilgili betik işletilmektedir. “Hata” değişkeni içeriği 1’e eşit ise GLcd üzerinde lif hatası ile ilgili bölüme “glcd_rect(0,32,43,63, YES, ON);” komutu ile içi dolu bir dikdörtgen çizilmektedir. “sprintf(metin,"LiF");” komutu ile “metin” karakter dizisinin içeriği değiştirilerek “glcd_text57(15,39,metin,1,OFF);” komutu ile içi dolu dikdörtgen içerisine gerekli pikseller kapatılarak lif yazısı yazılmaktadır. Ardından “sprintf(metin,"HATASI");” komutu ile metin karakter dizisi içeriği tekrar değiştirilerek ve takip eden “glcd_text57(5,50,metin,1,OFF);” komutu işletilerek uyarı grafiği tamamlanmaktadır (Şekil 7.14). Benzer şekilde diğer hasar türleri için

fonksiyon içerisindeki diğer komut grupları işletilerek Gled üzerindeki dış yırtılması ve kopuk dış hasarı için ayrılan bölümlerde grafik değişiklikleri yapılmaktadır.



Şekil 7.14: Lif hatası uyarı görüntüsü

Triger kayışta oluşan lif ayrılmaları 0 numaralı harici donanım kesmesi yardımıyla algılanmaktadır. Kayış yüzeyinden ayrılmış liflerin lazer ışınında bir kesinti oluşturması ile mikro denetleyici “harici kesme 0 fonksiyonu” ‘nu işletmektedir. Burada kayıştaki liflerin 200 ms içerisinde lazer ışınına kesintiye uğratma sayısı belirlenmektedir. Her kesinti ile “lif_cnr” isimli değişkenin içerdiği sayı 1 artırılmakta ve ardından bu değişkenin değerinin 500’den büyük olup olmadığı kontrol edilmektedir. 500’den büyük olduğu durumda “hata” değişkeni içeriği 1 olarak değiştirilmektedir. Böylece lif ayrılması hatası tanımlanmış olmaktadır. Ana program içerisindeki sonsuz döngüde “hata” değişkeni içeriğinin 0 ‘dan farklı olduğu algılanarak “hata_grafik();” fonksiyonu işletilmekte ve 1 numaralı hata türü için işletilmesi gereken komutlar çalıştırılarak GLcd üzerinde gerekli görüntü değişiklikleri yapılmaktadır (Şekil 7.14).

Dış yırtılması hasar tespitinde ilgili sensörden gelen sinyal, 1 numaralı harici donanım kesmesi tarafından izlenmektedir. Yırtık diş/dişler gergi kasnağı üzerinden geçerken kayıştan uzaklaşarak lazer ışınına kestiği durumda oluşan sinyalin yükselen kenarı ile birlikte “harici kesme 1 fonksiyonu” işletilmekte ve “hata” değişkeni içeriği 2 olarak değiştirilmektedir. Ana programda sonsuz döngü içerisinde “hata”

değişkeninin içerik kontrolü sonrasında “hata_grafik();” fonksiyonu işletilerek GLcd üzerindeki görüntüde yırtık diş bölümü aktif edilmektedir (Şekil 7.15).



Şekil 7.15: Diş yırtılması hasarı uyarı görüntüsü

Diş kopması hasar tipinin algılanması için mikro denetleyicinin B portunun 4 ve 5 numaralı pinlerindeki sinyalin değişimi ile oluşan donanımsal kesme kullanılmaktadır. Birbirlerinden kayış adımı uzaklığı ile diş tabanından diş yüksekliğinin yarısı kadar mesafede yerleştirilen iki lazer sensörlerden elde edilen sinyaller değerlendirilmekte ve hasar tespiti yapılmaktadır.

Kayış adımı sabit olduğu için belirli bir anda sensörlerden alınacak sinyaller, ışınların diş dolusu veya diş boşluğuna denk gelmesi durumuna göre aynı genlikte olacaktır. Dolayısı ile mikro denetleyicinin B portunun 4 ve 5 numaralı pinlerinden elde edilecek veriler aynı olacaktır. Bu prensip göz önünde bulundurularak B_portunda oluşan herhangi bir değişimde işletilecek olan “Port B değişimi kesme fonksiyonu” incelendiğinde öncelikle o anki B portunun bütün pinlerindeki bilgi (8 bit) “B_Port_deger” isimli değişkene aktarılmaktadır. Bu noktada B portundan alınan bilginin, ikilik sayı sisteminde düşünüldüğünde, 4. ve 5. haneleri diş kopması hasar tespitinde kullanılacağı için “B_Port_deger &= 0b00110000;” komutu ile “B_Port_deger” değişkeni içeriği $(00110000)_2$ sayısı ile mantıksal VE işlemine tabi tutulmaktadır. Bunun amacı B portundan alınan bilginin 4. ve 5. bitinin aynı kalmasını sağlayarak diğer bitlerinin 0’a eşitlenmesi sağlanmaktadır. Dolayısı ile işlem sonucunda hasarsız bir kayışta elde edilecek bilgi onluk sistemde 48 veya 0

olacaktır.(İkilik sistemde 00110000 veya 00000000). Bu iki değer dışında bir bilgi elde edilip edilmediği “if (B_Port_deger != 48 && B_Port_deger != 0)” komutu ile kontrol edilmekte ve bilgi farklı değil ise “Port B değişimi kesme fonksiyonu” işletimi tamamlanmaktadır. “B_Port_deger” değişkeninin içeriği 48 veya 0’dan farklı ise “hata” değişkeninin içeriği 3 olarak değiştirilmek suretiyle dış kopması hasarı tanımlanmaktadır. Ana program fonksiyonu içerisindeki sonsuz döngüde yapılan kontrol sonucu, Şekil 7.16’da görüldüğü şekilde GLcd üzerinde dış kopması hasarı gösterilmektedir.



Şekil 7.16: Dış kopması hasarı uyarı görüntüsü

Mikro denetleyicinin 200 ms içerisindeki ayrılmış lif sayısını ölçebilmesi için gerekli zamanlama denetleyicideki “zamanlayıcı 2” birimi kullanılarak elde edilmektedir. Ana program fonksiyonu içerisindeki “setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,249,10);” komutuyla 8ms’lik periyotlarda kesme oluşturulması sağlanmıştır. Komutun yapısı incelendiğinde setup_timer_2(Bölme oranı,PR2 değeri,Postscaler) şeklinde olduğu görülmektedir. Kontrol biriminde 20 MHz (f_{xtal}) frekanslı bir kristal rezonatör kullanıldığı ve PIC mikro denetleyicilerin bu frekansı 4’e bölerek kullandığı göz önünde bulundurulduğunda komut işletim frekansı (f_{osc}) değeri;

$$f_{osc} = \frac{f_{xtal}}{4} \quad (7.1)$$

şeklinde ifade edilir. Buna bağlı olarak komut işletim periyodu (T_{osc});

$$T_{osc} = \frac{1}{f_{osc}} \quad (7.2)$$

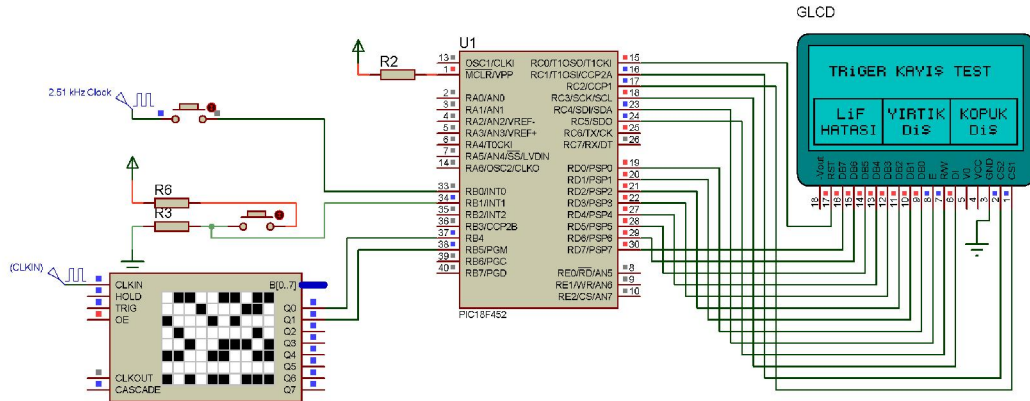
olarak tanımlanmaktadır. Zamanlayıcı 2 kesme fonksiyonu işletim periyodu ise

$$T_{kesme} = T_{osc} \cdot (Zamanlayıcı2_bölme_oranı) \cdot (PR2 + 1) \cdot (Postscaler) \quad (7.3)$$

formülü ile elde edilmektedir. Gerekli hesaplamalar yapıldığında 20 MHz kristal rezonatör kullanıldığında kesme periyodu 8 ms olarak bulunmaktadır. 200 ms'lik sürenin tespit edilmesi için, zamanlayıcı 2 kesme fonksiyonu içerisinde her 8 ms'de "cntr" isimli değişkenin değeri 1 artırılmaktadır. Bu değişkenin içeriği "if (++cntr>25)" komutu ile kontrol edilmekte ve değeri 25'i geçtiği durumda 200 ms'lik periyot tamamlanmış olmaktadır.

7.5. Kontrol Birimi Simülasyonu

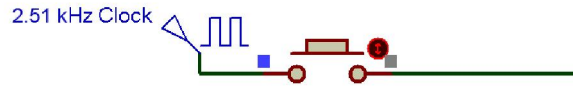
Kontrol biriminin elektronik devre simülasyonu Labcenter Electronics firmasının Proteus ISIS programı ile yapılmıştır. Program penceresine PIC 18F452 denetleyicisi ve GLcd elemanları yerleştirildikten sonra gerekli bağlantılar yapılmış ve programda mikro denetleyici üzerinde çalışacak kontrol yazılımı yüklenmiştir. Şekil 7.17'de program ara yüzü ve kontrol birimi simülasyon devresi görülmektedir.



Şekil 7.17: Proteus ISIS program ara yüzü ve kontrol birimi simülasyon devresi

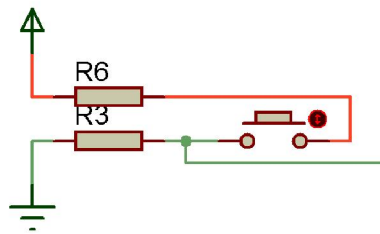
Hasar tanımlamaları için sensörlerden elde edilmesi gereken bilgiler devreye eklenen bir sinyal üretici, 2.51 kHz 'lik bir saat darbesi üreticisi ve mantıksal sinyal (0V – 5V) üretici bir devre yardımı ile sağlanmıştır.

Lif ayrılmalarını algılamak için 2.51 kHz frekansında darbe üretici birim kullanılmaktadır (Şekil 7.18). Simülasyonun çalışması esnasında darbe üreticiye bağlı butona basıldığında saniyede 2510 darbelerlik sinyal mikro denetleyiciye ulaşmaktadır. Yazılım içerisinde 200 ms'lik periyotta 500'den fazla darbe sayıldığı için simülasyondaki Glcd'de "Lif hatası" bölümünde uyarı görülmektedir.



Şekil 7.18: 2.51 kHz darbe üretici birim.

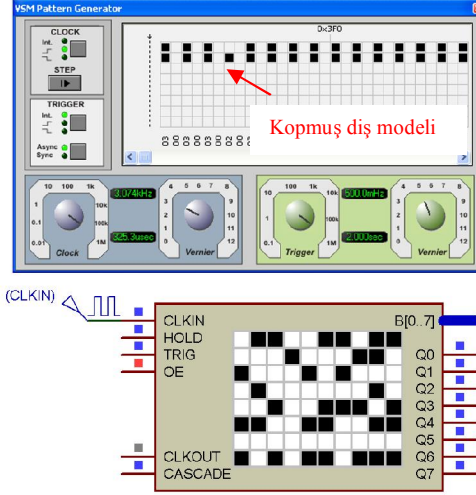
Diş yırtılması hasarının simüle edilmesi için Şekil 7.19'da görülen R6, R3 dirençleri ve bir buton ile oluşturulmuş devre kullanılmaktadır. Simülasyon esnasında butona basıldığı anda denetleyiciye 5V luk gerilim uygulanmaktadır. Buton bırakıldığı anda gerilim 0 V'a düşmekte ve bu düşen sinyal ile diş yırtılması hasarı algılanarak simülasyondaki Glcd üzerinde ilgili bölümde uyarı verilmektedir.



Şekil 7.19: Diş yırtılması simülasyon devresi

Diş kopması hasarı için simülasyondaki sinyal modelleyici birim kullanılmaktadır. Şekil 7.20'de görülen sinyal modelleyici sabit bir frekansta, sensörlerden gelen sinyalleri modelleyecek şekilde ayarlanmıştır. Buna göre üretilen sinyal modeli mikro denetleyicinin B portunun 4 ve 5 numaralı pinlerine ardışık olarak 3 ve 0 ($(11)_2$ $(00)_2$) değerleri göndermektedir. Bunun nedeni iki sensörün kayış diş adımı

mesafesi ile yerleştirilmesinden dolayı aynı anda diş dolusu veya diş boşluğuna gelmeleridir. Şekil 7.20 üzerinde görülen kopuk diş modeli noktasında 4. ve 5. pinlere 2 ($(10)_2$) değeri gönderilerek kayış üzerindeki eksik diş simüle edilmektedir. Sinyal modelleyici tarafından denetleyiciye 3 değeri gönderildiği anda GLcd üzerinde “kopuk diş” uyarısı görülmektedir.



Şekil 7.20: Diş kopması hasarı için sinyal üretici birim

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Triger kayışlarında meydana gelen hasarların kayışın kopmadan önce gerçek zamanlı olarak algılanması özellikle içten yanmalı motorlarda büyük maddi kayıpların önlenmesi bakımından oldukça önem taşımaktadır. Diğer yandan senkronize çalışan ve dişli kayışlarla tahrik edilen bütün sistemlerde de kopma olmadan hasarın tespit edilip sistemin bakıma alınması büyük önem taşımaktadır.

Senkronize kayış kasnak tertibatında kopma olmadan önce ve sistem çalışır durumda iken kayışta kopmaya sebep olabilecek hasarların önceden tespit edilmesi üzerine yapılmış olan bu çalışmada yeni bir metot geliştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile de bu metodun çalışabilirliği ve tekrarlanabilirliği, böylece de triger kayışı kullanılan içten yanmalı motorlarda ve senkronize çalışan sistemlerde rahatlıkla kullanılabilirliği görülmüştür.

Yapılan çalışmada, çift kam milli bir içten yanmalı motorun triger kayış sistemi ve ölçüleri temel alınarak deney tertibatı tasarımı yapılmış ve imal edilmiştir. Deney tertibatında bir içten yanmalı motora ait triger seti diye anılan 1 adet krank miline bağlı, 2 adet kam miline bağlı dişli kayış kasnağı, 1 adet kayış gergi kasnağı ve aynı sete ait 1 adet triger kayışı orijinal ekipman olarak alınmış ve deney tesisatında kullanılmıştır. Diğer yandan aynı tip içten yanmalı motora ait hasarlı kayışlar, ilgili motorun tamir bakım servisleri ile önceden görüşmeler yapılarak deneyde kullanılmak üzere toplatılmıştır. Deneysel çalışmada önce hasarsız kayış kullanılarak sistem haftalık periyotlar ile birer saat çalıştırılmıştır. Toplam beş saatlik çalışma sonucunda hasarsız kayışla çalışan sistem herhangi bir hasar tespitinde bulunamamıştır. Böylece sistemin hasarsız kayışlar için yanlış algılama yapıp gereksiz yere sürücüyü uyarmaması gerekliliği temin edilmiştir. İlgili motorun yetkili tamir bakım servisinden alınan hasarlı kayışlar hasar tiplerine göre önceden taksim edilip deneysel çalışma ile bu hasarların hedeflenen gerçek zamanlı hasar tespit sistemi ile tespit edilip edilemeyeceği denenmiştir.

Deneysel çalışmada imkanlar dahilinde en küçük 0.6 mm çapında lazer ışık demeti kullanılabilirdiğinden dolayı 0.6 mm çapından daha ince kopuk lifler gerçek zamanlı hasar tespit sistemi ile tespit edilememiştir. Daha ince çaplı kopmuş liflerin tespit edilebilmesi, aynı sistemle sadece lazer ışık demetinin çapının küçültülmesi ile sağlanabilir. Bunu nedeni ışık demeti çapı lif çapından büyük olması durumunda ışık algılayıcı foto detektöre az da olsa sürekli ışık ulaşmasından kaynaklanmaktadır. Işık demeti çapı lif çapından küçük olması durumunda foto detektöre giden ışıkta kesilme olacak ve böylece lifin varlığı algılanmış olacaktır. Teknolojik olarak daha küçük çaplı ışık demeti sağlamak lazer ışığının geçtiği ön daraltma deliğinin çapına bağlıdır. Bunun için sadece özel imalat yöntemleri uygulanması gerekli olup bu çalışmada ekonomik görülmemiştir.

Dibinden yırtılmış dişlerin tespiti için yapılan çalışmada, algılayıcı sensör gergi kasnağına kayışın sırtından sarılmış ve dişlerin açıkta olduğu bölgeye yerleştirilmiştir. Burada dişlerin dibinden yırtılmalarından dolayı yırtılmamış dişlerin tepe noktasının konumundan daha yüksek bir konumdan geçmesi sağlanmıştır. Ayrıca merkez kaç kuvvetinin etkisi ile dibi yırtık dişler sağlam dişlerin tepe noktalarının yörüngesinden dönme merkezine göre ortalama en az 1 mm daha yüksek bir yörüngede seyrettikleri gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ışık demeti dibi yırtık dişleri algılamak için sağlam dişlerin tepe yörüngesinden 0.4 mm yüksek yörüngeye yerleştirilmiştir. Ancak diş dibindeki yırtılma miktarı çok az ya da küçük çatlak oluşan hasarlı dişlerin tepe noktalarının yörüngesi sağlam dişlerin yörüngesinden fazla ayrılmadıklarından dolayı hafif çatlak başlangıçlı diş dibi kesilmesi hasarları sürekli olarak algılanamamıştır. Burada ancak hasarın ilerlemesi ile algılanmanın daha netleşmeye gittiği görülmüştür. Daha ince demetli lazer ışığının kullanılması ile bu durumun hassasiyetinin artırılabilceği görülmektedir.

Kopmuş dişlerin tespiti için ise yine sensör kayışta salınımın olmadığı bölgelerden olan triger kayışın kam mili dişli kasnağından ayrıldığı bölgeye yerleştirilmiştir. Burada kopuk diş algılama sensöründe kayışın adımına bağlı olarak iki ışık kaynağı ve algılayıcılarının her ikisinde aynı anda dolu veya boş diş algılayacak şekilde tasarlanmıştır. Kopuk diş olması durumunda ise sinyaller arasındaki fark algılanıp böylece kopuk dişin varlığı tespit edilmekte ve sistem uyarı vermektedir.

Yapılan çalışmada hasar algılama sisteminin hızı kullanılan mikro denetleyicinin hızı ile sınırlıdır. Bu çalışmada 20 MHz 'lık mikro denetleyici kullanılmıştır. Komutların işletim sürelerinin denetleyicinin hızını kesmesi de göz önüne alındığında ortalama 3000 dev/dak 'lık hızlara kadar sistem düzgün çalışmaktadır. Bu hızın üzerine çıkılması durumunda sistem hatalar vermektedir. Bu durumda daha yüksek hızlı mikro denetleyicilerin kullanılması ile daha yüksek motor devirlerinde de sistemin sağlıklı çalışabileceği aşikârdır. Ticari olarak 80 MHz hızında çalışabilen mikro denetleyiciler mevcut olup bu çalışmada ekonomik olması nedeni ile 20 MHz 'lık mikro denetleyici kullanılmıştır.

Bu çalışmada yapılan hasar algılama sistemi çevre şartları bakımından, standart endüstriyel mikro denetleyicilerin kullanılması durumunda -40 °C ile 125 °C sıcaklık değerleri arasında çalışabilmektedir. Askeri amaçlı üretilen mikro denetleyicilerin kullanılması durumunda bu değerler daha artırılabilir. Ancak bir taşıtta kullanılan sistem için endüstriyel amaçlı üretilen mikro denetleyicilerin kullanılmasında her hangi bir problem olmayacağı görülmektedir. Sistemin yerleştirileceği bölge aşırı toz ve partiküllere karşı korunaklı kasket içerisinde bulunmaktadır. Bu nedenle sistem olağan dışı olmayan çevre şartlarından olumsuz etkilenmemektedir.

Triger kayışlarında oluşan hasarı gerçek zamanlı olarak algılayan sistemin enerji tüketim miktarı yaklaşık taşıttaki bir adet sinyal ampulünün 1/5 'i kadar olup bu sistemin taşıta enerji sarfiyatı bakımından ek yük getirmeyeceği görülmektedir.

Oluşturulan hasar tespit sisteminin boyutlarının küçük olması nedeni ile içten yanmalı motorun triger seti bölgesinde aşırı konstrüktif değişikliklere gerek kalmadan uygulama kolaylığı söz konusudur.

Bu çalışmada senkronize kayışlardaki hasarların gerçek zamanlı tespiti için tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen sistem sadece içten yanmalı motorlarda değil aynı zamanda senkronize kayışların kullanıldığı endüstrideki diğer alanlarda da rahatlıkla kullanılabilir. Sistemin algoritması değiştirilmeden sensör bölgesindeki

tasarımın esnek olması nedeni ile mevcut senkronize kayış kasnak sistemlerine rahatlıkla adapte edilebileceği görülmektedir.

Sistemin senkronize kayış kasnak mekanizmalarında kullanılması ile kayışlarda oluşan hasarların gerçek zamanlı olarak algılanması ile kayışın kopmadan önce operatörlerin uyarılması ya da çalışan mekanizmaların durdurulması sayesinde büyük maddi kayıpların önüne geçilebileceği görülmektedir.

Yapılan çalışma ileriki aşamalarda, kullanıcıya, triger kayışlarında oluşan hasarların durumu ve ne kadar süre içerisinde değiştirilmesi gerektiğini bildirebilecek şekilde geliştirilebilir niteliktedir. Ayrıca hasarın durumu ve tiplerine göre yoğunlukları izlenerek tehlikeli durumlarda motorun durdurulması gibi güvenlik tedbirleri eklenerek sistemin geliştirilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Genta, G., Morello, L., “The Automotive Chasis, Volume 2: System Design”, *Springer*, (2009)
- [2] Akkurt, M., “Makine Elemanları Cilt : I - II”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul,(2000)
- [3] Roy Beardmore, Timing Belts [online], http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Drive/Timing_belts.html, (Ziyaret Tarihi:10 Kasım 2008)
- [4] Budynas, R. G., Nisbett, J. K., Shigley, J. E., “Shigley’s Mechanical Engineering Design, Eighth Edition”, *McGraw-Hill*, (2006)
- [5] Koyama, T., Zhang, W., Tomohiko, N., Masanori, K., “A Study on Jumping of Synchronous Belt Drives(Mechanisms of Jumping)”, *Machine Design and Tribology Division Meeting in JSME*, Vol. 2, 107 - 110, (2002)
- [6] Iizuka, H., Watanabe, K ., Mashimo, S.,” Observations of Fatigue Failure in Synchronous Belts”, *Fatigue Fract. Engng Mater. Struct.*, Vol. 17, (1994)
- [7] Mack, J.E., “Belt flaw detector”, Patent No:5994712, *United States Patent and Trademark Office*, (1999)
- [8] Ahmed, A. A. A., “Method and apparatus for detecting timing belt damage using inductive link coupling”, Patent No:6532810, *United States Patent and Trademark Office*, (2001)
- [9] Dalgarno, K.W., Day, A.J., Childs, T.H.C., Moore R.B., “Stiffness loss of synchronous belts”, *Elsevier*, 217-222, (1998).
- [10] Fattah, M. A. A., “CAE and life prediction modelling of a belt drive system”, MSc Dissertation, *University of Bradford MSc in Automotive*, Bardford (2005)
- [11] Blander, R.S., Wenzel, K.J., Piska, V.G., “Method of detecting timing apparatus malfunction in an engine”, Patent No:5463898, *United States Patent and Trademark Office*, (1995)
- [12] Ahmed, A. A. A., “Method and apparatus for timing belt drive” Patent no: 6181239, *United States Patent and Trademark Office*, (2001)

- [13] Ahmed, A. A. A., “Method and apparatus for detecting timing belt damage using link coupled feedback”, Patent No:6523400, *United States Patent and Trademark Office*, (2003)
- [14] Schenk, C., “Optical fault seeking apparatus for webs”, Patent No:4591726, *United States Patent and Trademark Office*, (1986)
- [15] Eder, J., “Optical hole seeking apparatus having dual spaced laser scanners”, Patent No:5095214, *United States Patent and Trademark Office*, (1992)
- [16] Sabater, J., Bauduin, S., “Device for detecting incipient tears on a sheet during manufacture”, Patent No : 4788442, *United States Patent and Trademark Office*, (1988)
- [17] Sakaguchi, M., Kubota, K., Ichikawa, F., “ Joint inspection apparatus”, Patent No:4988204, *United States Patent and Trademark Office*, (1991)
- [18] Kuijpers, J.A.M., Piet, B., Huisman, H., “Apparatus for assessing the weld in belt layer for radial pneumatic tires”, Patent No:4842413, *United States Patent and Trademark Office*, (1989)
- [19] Sick, E., “Apparatus for determining faults in strip material”, Patent No:4306813, *United States Patent and Trademark Office*, (1981)
- [20] Shigley, J. E., Mischke, C. R., Brown, T. H., “Standard Handbook of Machine Design, 3rd Edition”, *McGraw-Hill Professional*, (2004)
- [21] Gates Corp., “Industrial Synchronous Belts Design Manual”, E2/20099, (2007)
- [22] Gates Corp., “PowerGrip GT2 Belt Drives Design Manual”, 17195, (2006)
- [23] As Conveyor Systems, 2007, “Conveyors for accurate product positioning and heavy load transfer” [online], <http://www.asconveyorsystems.co.uk/Timing-Belt-Conveyors.html> (**Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2009**)
- [24] Erickson, W. D., “Belt Selection And Application for Engineers”, *Marcel Dekker*, (1987)
- [25] Microchip Technology Inc., “PIC-18F452 datasheet” [Online], <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf> (**Ziyaret Tarihi: 22 Aralık 2008**)

EKLER

EK-1

Kontrol yazılımının C programlama dili kodları

```
#include "Triger Test.h"
#include <HDM64GS12.c>
#include <graphics.c>
#define FAST_GLCD
#use delay(clock=20000000)
#USE FAST_IO(B)

//----- Yazılımda kullanılan global değişkenler ve veri tipleri
int32 a;
int hata=0;
int cntr;
int32 lif_cntr=0;
int B_Port_deger=0;
char metin[20];

//----- Fonksiyon prototipleri
void LCD_hazirla(void);
void hata_grafik(void);

//----- Timer2 taşma kesmesi fonksiyonu
#int_TIMER2
void TIMER2_isr(void)
{
    if (++cntr>25)//200 ms
    {
        lif_cntr=0;
    }
}
```

```
    cntr=0;
}
}
```

```
//----- Harici kesme 0 fonksiyonu
```

```
#int_EXT
void EXT_isr(void)
{
    lif_cntr++;
    if(lif_cntr>500)
    {
        hata=1;
    }
}
```

```
//----- Harici kesme 1 fonksiyonu
```

```
#int_EXT1
void EXT1_isr(void)
{
    hata=2;
}
```

```
//----- Port_B değişimi kesme fonksiyonu
```

```
#int_RB
void RB_isr(void)
{
    B_Port_deger = input_b();
    B_Port_deger &= 0b11110000;
    if (B_Port_deger != 48 && B_Port_deger != 0)
    {
        hata=3;
    }
}
```



```

// ----- Ana program fonksiyonu
void main()
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_wdt(WDT_OFF);
    setup_timer_0(RTCC_EXT_H_TO_L | RTCC_DIV_4);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,249,10);
    setup_timer_3(T3_DISABLED|T3_DIV_BY_1);

    ext_int_edge( 0, L_TO_H);
    ext_int_edge( 1, L_TO_H);

    SET_TRIS_B( 0xFF );
    glcd_init(ON);
    delay_ms(100);

    LCD_hazirla();
    enable_interrupts(INT_TIMER2);
    enable_interrupts(INT_EXT);
    enable_interrupts(INT_EXT1);
    enable_interrupts(INT_EXT2);
    enable_interrupts(INT_RB);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    while(1)
    {
        if (hata!=0)
        {
            hata_grafik();
            hata=0;
        }
    }
}

```

```

    }
    delay_ms(100);
}
}

//----- Grafik lcd hazırlama fonksiyonu
void LCD_hazirla(void)
{
    sprintf(metin,"TRiGER KAYIŞ TEST");
    glcd_text57(10,10,metin,1,ON);

    glcd_rect(0,32,127,63, NO, ON);
    glcd_line(43, 32, 43, 63, ON);
    glcd_line(85, 32, 85, 63, ON);

    sprintf(metin,"LiF");
    glcd_text57(15,39,metin,1,ON);
    sprintf(metin,"HATASI");
    glcd_text57(5,50,metin,1,ON);
    sprintf(metin,"YIRTIK");
    glcd_text57(47,39,metin,1,ON);
    sprintf(metin,"DiŞ");
    glcd_text57(56,50,metin,1,ON);

    sprintf(metin,"KOPUK");
    glcd_text57(92,39,metin,1,ON);
    sprintf(metin,"DiŞ");
    glcd_text57(98,50,metin,1,ON);
    glcd_update();
}

//----- Hata sonucu lcd'deki uyarıları oluşturan fonksiyon
void hata_grafik(void)
{

```

```

switch(hata)
{
case 1:glcd_rect(0,32,43,63, YES, ON);
    sprintf(metin,"LiF");
    glcd_text57(15,39,metin,1,OFF);
    sprintf(metin,"HATASI");
    glcd_text57(5,50,metin,1,OFF);
    break;
case 2:glcd_rect(43,32,85,63, YES, ON);
    sprintf(metin,"YIRTIK");
    glcd_text57(47,39,metin,1,OFF);
    sprintf(metin,"Di$");
    glcd_text57(56,50,metin,1,OFF);
    break;
case 3:glcd_rect(85,32,127,63, YES, ON);
    sprintf(metin,"KOPUK");
    glcd_text57(92,39,metin,1,OFF);
    sprintf(metin,"Di$");
    glcd_text57(98,50,metin,1,OFF);
    glcd_update();
    break;
default:break;
}
glcd_update();
}

```

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. 1998-2000 yılları arasında, Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Mekatronik Bölümü'nde Ön Lisans eğitimini tamamladı. 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü'nden 2005 yılında Teknik Öğretmen olarak mezun oldu. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2008 yılından beri özel bir şirkette Ar-Ge Bölüm Şefi olarak görev yapmaktadır.