İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ NESİL BİR SİLECEK ÜRÜNÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ VE SİLME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR TEST DÜZENEĞİNİN OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut YILMAZ

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ NESİL BİR SİLECEK ÜRÜNÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ VE SİLME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR TEST DÜZENEĞİNİN OLUŞTURULMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut YILMAZ
(521091015)

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Hüseyin KIZIL

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 521091015 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Aykut YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YENİ NESİL BİR SİLECEK ÜRÜNÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ VE SİLME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR TEST DÜZENEĞİNİN OLUŞTURULMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yard. Doç. Dr. Hüseyin KIZIL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Celalettin ERGÜN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2012**

Aileme ve desteğini esirgemeyen tüm dostlarıma,

ÖNSÖZ

Bütün eğitim ve öğretim hayatım süresince beni koşulsuz bir şekilde destekleyen aileme sayısız teşekkür ederim.

İTÜ-MEMS Laboratuarlarında tanışma fırsatı bulduğum ve birlikte çalışmaktan keyif aldığım çok kıymetli arkadaşlarımdan M. Öznur PEHLİVANER'e, M Ragıp ABDULLAHOĞLU'na, Mustafa YILMAZ'a, Vural KARA'ya, Arzu ÖZBEY'e ve teşekkürü borç bilirim.

Bu eserin ortaya çıkarılmasında büyük pay sahibi olan değerli hocam ve aynı zamanda danışmanım Yard. Doç. Dr. Hüseyin KIZIL'a sayısız teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2012

Aykut Yılmaz
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Literatür Araştırması 2
1.2.1 Sürtünme kuvveti 2
1.2.1.1 Coulomb sürtünme yasaları 3
1.2.1.2 Hertz teorisi 5
1.2.2 Silici kauçuk yüzey işlemleri 7
1.2.2.1 Halojenizasyon işlemleri 8
Klorinasyon banyo bileşenleri 9
Klorinasyon işlem süresi 10
Klorinasyon mekanizması 10
1.2.2.2 Kendinden yağlayıcılı yüzey kaplamaları 14
1.2.2.3 Katı yağlayıcılar 15
1.3 Hipotez 17
2. SİLECEK SİSTEMİ VE SİLİCİ SİLGİ **19**
2.1 Silecek Sistemi 19
2.1.1 Silecek kolu 19
2.1.2 Silici silgi 21
2.2 Silici Silginin Üretim Metodu 23
2.3 Silici Silginin Silme Performansının İncelenmesi 23
2.3.1 Silici silginin farklı fazlarda çalışması 24
2.3.2 Sürtünme kuvveti test düzeneği 25
2.3.3 Sürtünme katsayısı analizinin gerçekleştirilmesi 26
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **29**
3.1 Halojenizasyon Deneyleri 29
3.1.1 Klorca zengin tabakada biriken klor oranının incelenmesi 31
3.1.2 Klorca zengin tabaka kalınlığının incelenmesi 34
3.1.3 Yüzeyde oluşan klor bağlarının incelenmesi 37
3.2 Yüzey Kaplama Deneyleri 39
3.2.1 Yüzey kaplamalarının karakterizasyonu 40
3.2.2 Kaplama parametrelerinin belirlenmesi ve parametrelere göre sürtünme katsayısının değişimi 44
3.2.2.1 Yapıştırıcı faz bileşeninin optimizasyonunun sağlanması 44
3.2.2.2 Grafit oranının değiştirilmesi ile hazırlanan kaplamalar 46

3.2.2.3 Bor nitrür ve grafit oranının değiştirilmesi ile hazırlanan kaplamalar48
3.3 Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen sürtünme testleri 50
3.4 Sürtünme özelliklerinin zamana göre değişimi ve ömür testleri 52
3.5 Aşınma karakteristiklerinin incelenmesi 54
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 59
KAYNAKLAR 61
ÖZGEÇMİŞ 63

KISALTMALAR

NR	**:** Natural rubber
SEM	**:** Taramalı elektron mikroskobu
PTFE	**:** Poly tetra fluor ethylene
TCI	**:** Tri-kloro-izosiyanürik asit
UHMWPE	**:** Ultra high molecular weight polyethylene
IR	**:** Isoprene rubber
BR	**:** Butadiene rubber
SBR	**:** Styrene butadiene rubber
NBR	**:** Natural butadiene rubber
CR	**:** Chloroprene rubber
FKM	**:** Florin katkılı kauçuk
IIR	**:** Butil kauçuk
EPM	**:** Ethylene propylene kauçuk
EPDM	**:** Ethylene propylene diene kauçuk
T	**:** Polysulfide kauçuk
U	**:** Urethane kauçuk
PLC	**:** Programmable logic controller
EDX	**:** Enerji dağılımlı X-Ray spektrometresi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Halojenizasyon denemelerine ait banyo klor oranı ve işlem süreleri... 30
Çizelge 3.2 : Denemeler sonrasında ölçülen % Cl içeriği değerleri. 32
Çizelge 3.3 : Denemeler sonrasında ölçülen klor tabaka kalınlığı değerleri (μm). ... 35
Çizelge 3.4 : Yapıştırıcı faz bileşeninde kullanılan kimyasalların oranı. 44
Çizelge 3.5 : Yapıştırıcı faz bileşeni oranının kaplamalara göre değişimi. 45
Çizelge 3.6 : Grafit oranının kaplamalara göre değişimi..... 47
Çizelge 3.7 : Bor nitrür ve grafit oranının kaplamalara göre değişimi. 49

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sert bir altlık üzerinde sürtünme gerçekleştiren kauçuk incelendiğinde büyük pürüzlere nüfuz ettiğini ancak düşük boyuttaki pürüzlerde girişim yapmadığı gözlenir, Persson (2001)'den uyarlanmıştır. 6
Şekil 1.2 : FTIR-ATR spektraları, vulkanize edilmemiş (a) kontrol numunesi, (b) klorine edilmiş numune, Ho (1998)'den uyarlanmıştır. 11
Şekil 1.3 : Vulkanize edilmiş doğal kauçuğun kontrol ve klorine edilmiş numunelerine ait spektralar, Radabutra (2009)'dan uyarlanmıştır. 12
Şekil 1.4 : Klorinasyon işleminde doğal kauçuk yüzeyinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar, Ho (1998)'den uyarlanmıştır. 13
Şekil 1.5 : Lamelli yapıdaki katı yağlayıcıların iç yapısı. 17

Şekil 2.1 : Islak koşullarda sabit sıcaklıkta değişen silici hızı ve baskı yükleri altında sistemde ölçülen sürtünme katsayıları, Koenen (2006)'dan uyarlanmıştır. 20
Şekil 2.2 : Yenilikçi dudak tasarımı ve açılı şekildeki omuz bölgesi, Mizote (2008)'den uyarlanmıştır. 22
Şekil 2.3 : Sürtünme kuvveti test düzeneğine ait teknik resim. 26
Şekil 2.4 : Sürtünme kuvveti test düzeneğinin çalışma sistematiği. 27

Şekil 3.1 : Klorinasyon işlemi akış şeması. 30
Şekil 3.2 : Seri üretim koşullarında (3 dakika, B banyosu) klorine edilen silgiye ait EDX analizi. 32
Şekil 3.3 : % Cl oranının banyo türlerine göre değişiminin incelenmesi. 33
Şekil 3.4 : % Cl oranının farklı işlem sürelerine göre değişiminin incelenmesi. 34
Şekil 3.5 : E banyosunda 3 dakika süreyle klorine edilmiş doğal kauçuk yüzeyinde oluşan klor tabakası. 35
Şekil 3.6 : Klor tabaka kalınlıklarının farklı klor içerikli banyolardaki değişimi. 36
Şekil 3.7 : Klor tabaka kalınlıklarının farklı işlem sürelerine göre değişimi. 37
Şekil 3.8 : Klorine edilmiş ve klorine edilmeyen kontrol numunelerine ait FT-IR transmittans analizleri. 38
Şekil 3.9 : Bir çevrim süresince sürtünme katsayısının zamana göre değişimi. 41
Şekil 3.10 : Bir çevrim süresince sürtünme katsayısının konuma göre değişimi. 42
Şekil 3.11 : Tüm çevrim süresince sürtünme kuvvetinin zamana göre değişimi. 43
Şekil 3.12 : Tüm çevrim süresince sürtünme katsayısının zaman göre değişimi. 43
Şekil 3.13 : Yapıştırıcı faz içerikleri farklı kaplamaların kuru sürtünme katsayıları. 46
Şekil 3.14 : Grafit oranları farklı kaplamalarda elde edilen sürtünme katsayıları. 48
Şekil 3.15 : Bor nitrür oranları farklı kaplamalarda elde edilen sürtünme katsayıları. 49
Şekil 3.16 : Grafitle kaplanmış eski karışım sileceklerin sürtünme katsayıları. 50
Şekil 3.17 : G3 ile kaplanmış eski karışım sileceklerin sürtünme katsayıları. 51
Şekil 3.18 : Grafitle kaplanmış yeni karışım silceklerin sürtünme katsayıları. 51
Şekil 3.19 : G3 ile kaplanmış yeni karışım sileceklerin sürtünme katsayıları. 51

Şekil 3.20 : Eski karışım sileceklerinin farklı kaplamalardaki sürtünme katsayıları. 52
Şekil 3.21 : Yeni karışım sileceklerinin farklı kaplamalardaki sürtünme katsayıları.53
Şekil 3.22 : Grafit ile kaplanmış yeni karışım silecek lastiğinin aşınma ara yüzeyi. 53
Şekil 3.23 : G3 kaplanmış yeni karışım silecek lastiğinin aşınma arayüzeyi. 54
Şekil 3.24 : Eski karışım grafit kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi. 55
Şekil 3.25 : Eski karışım G3 kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi. 56
Şekil 3.26 : Yeni karışım grafit kaplanmış silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi. 56
Şekil 3.27 : Yeni karışım G3 kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi. 57
Şekil 3.28 : Kaplama tiplerine göre ölçülen aşınma katsayılarının dağılımı. 57

YENİ NESİL BİR SİLECEK ÜRÜNÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ VE SİLME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN BİR TEST DÜZENEĞİNİN OLUŞTURULMASI

ÖZET

Endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan silecek ürününün geliştirilmesine yönelik hazırlanan bu tez kapsamında ürünün silme performansının arttırılması ve daha uzun süreli servis ömrüne sahip bir ürününün ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda tezin amacı silecek ürününün sürtünme katsayısını düşürmektir. Bu çalışma yerli bir silecek üreticisinin belirli bir modeldeki silecekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üreticinin üretim metodolojisi incelenmiş ve metod üzerinde de geliştirme çalışmaları yapılmıştır.

Silecek ürününün silme performansını belirleyen en önemli parametrelerden biri kauçuk altlık üzerine uygulanan yağlayıcı tabakanın etkinliği ve aşınma karakteristiğidir. Bununla beraber silme performansına etkiyen etmenler arasında kauçuk altlık malzemesinin karışım özellikleri, silecek silgisinin geometrik formu ve silecek silgisinin yüzey özellikleri yer almaktadır.

Kauçuk malzemeler diğer malzemeler ile beraber çalıştıklarında yüksek sürtünme davranışı gösterirler. Kullanım alanına göre bazen yüksek sürtünme bazen ise düşük sürtünme göstermesi istenir. Düşük sürtünme istenen uygulamaların başında silecek sistemleri gelmektedir. Kauçuk malzemelerin sürtünme katsayılarını düşürme amacıyla endüstride izlenen yöntem sırası ile; yüzey sertliğinin klorinasyon işlemi ile arttırılması ve sonrasında uygulanan katı yağlayıcı tabaka ile sürtünmenin azaltılması şeklindedir.

Yapılan çalışmalarda klorinasyon prosesi mevcut yöntemi de kapsayan geniş bir deney havuzunda incelelenmiştir. Klorinasyon prosesinin ardından sertliği arttırılan yüzey ile daha düşük sürtünme katsayılarına erişilmektedir. Bu durum esnek katıların temasının anlatıldığı Hertz teorisi ile de doğrulanmaktadır.

Klorinasyon prosesi sonrasında gerçekleştirilen yüzey kaplama çalışmalarında mevcut üründe kullanılan metodolojiden farklı bir yöntem izlenmiştir. Mevcut ürünün yüzey kaplama işlemi katı yağlayıcı grafit partiküllerinin su ile disperse edilip bir bulamaç şeklinde silecek yüzeyine sürülerek kurutulmasına dayanmaktadır. Fakat bu kaplama tabakası yüzeyle etkin bir bağlanma mekanizması sağlamadığından kısa sürede yüzeyden aşınmakta ve etkinliğini kaybetmektedir. Dolayısıyla yüzey ile kaplama tabakası arasında etkin bir bağ oluşması gerekmektedir. Mevcut yöntemin dışında bir kaplama metodu belirlenmesinin nedeni budur. Çalışmada uygulanan yöntem ise katı yağlayıcı partiküllerin bir sıvı yapıştırıcı faz içerisinde dağıtılarak yüzeye sprey ile uygulanması ve ardından belirli sıcaklıkta kürleme işlemi ile yağlayıcı tabaka ile yüzey arasında bağların oluşturulması esasına dayanamaktadır. Ayrıca bu yöntemde yapıştırıcı fazın yağlayıcı özelliği bulunmadığından düşük sürtünme katsayısı gösteren tabaka formülasyonu için optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Silecek yüzeyine uygulanan kaplamaların analizinde ve kaplama tabakalarının aşınma karakteristiklerinin belirlenmesinde ise bu çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilen sürtünme katsayısı cihazından yararlanılmıştır. Aşınma karakteristiklerinin tespitinde kullanılan aşınma yüzeylerinin görüntüleri elektron mikroskobu aracılığıyla elde edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda yeni geliştirilen üründe sürtünme katsayısında %32 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Sürtünme katsayısındaki % 32 geliştirmeye karşılık aşınma katsayısı incelendiğinde, aynı test koşullarında test edilen geleneksel silecek silgisi ile yeni geliştirilen kaplama uygulanmış silecek arasında yeni geliştirilen sileceklerde %64 oranında daha az aşınma meydana geldiği görülmüştür.

DEVELOPMENT OF A NEW GENERATION WIPER BLADE AND PRODUCTION OF A TEST DEVICE FOR TESTING THE WIPING PERFORMANCE

SUMMARY

When rubber materials slide against other materials, the coefficient of friction in the system becomes very high. This is due to the intrinsic material property of rubber materials. In the window wiping applications, engineers mostly prefer to have a smaller friction forces to protect the rubber material from abrasion and wear.

The methods to reduce the frictional forces on rubber wiper materials are chlorination process of the wiper blade rubber at first and the application of a solid lubricant over the working areas of wiper blade. Lubricant layer adhesion and the interaction between this layer and the rubber material are the most critical aspects to determine the wiping performance while the rubber blend properties of the base material, geometrical form of the wiper blade, and the wiper surface properties are also important for the wiping performance.

The purpose of this thesis is to increase the wiping performance of an automotive wiper blade and consequently to produce a longer time of service performance. On this direction, we aimed to decrease the friction coefficient of the wiping system and wiper blade. Wiper blade manufacturing processes were also examined in the factory plant.

We analysed all the chlorination conditions of chlorination process providing surface hardening to rubber material thus obtaining smaller frictional forces. Chlorination process also provide us a surface preparation before the coating with decreasing surface contact angles. Ruber material dipped into an acidic aqueous solution which has chlorine ions in this chlorination processes. The degree of chlornation process is related with those ion concentrations in the bath. We prepared five different chlorination baths with different chlorine concentrations and made five tests varying period of times for each bath and at last, twentyfive different test were made for chlorination process.

Chlorination samples are analysed in two different method. In first method, we analysed the chlorination layer on the surface of the rubber material. The second analysing method is determining the atomic percentage of the elements. A different layer occurs on the surface of rubber products in chlorination process and this layer has a spesific thickness related with the chlorine ion concentration in the bath and chlorination time. The thickness of the layer changes 1,737 μm to 10,800 μm lenghts. Atomic percentage of chlorine element varies from 6,103% to 37,250%, these percentage values are weight percentages of chlorine element values. Big microcracks occurring on the rubber surface in high concentration of chlorine content and in long chlorination times. These microcracks are unwanted material properties and material defects for wiper blade applications, because these cracks causes the water traces on the windowshield of the car while wiping operation and these cracks are called elephant skin cracks.

We used EDX analysis technique to determine the atomic percentage of the elements transferred to the rubber surface from the chlorination bath during the process. It was found that the chlorine concentration on the surface had a linear relationship with the chlorine bath as expected. The effect of chlorination time has a linear relationship with the chlorine concentration on the surface. We used FTIR analysis to determine surface reactions and chemical bondings during the chlorination process and the results of analysis were consistent with the literature. We took the SEM micrographs to examine the surface microcracks on the wiper blades and we saw micoracks for high concentration of chlorine content and high exposure times in the bath. These cracks increase the surface roughness and decrease the contact area of rubber when it is in contact with another surface. Surface hardening is the the most useful property to decrease the friction coefficient in this application and hardening is done by the chlorination process mostly.

After the chlorination process, a new method for the solid lubricant application over the rubber blade was presented. Preceding coating method was involved with mixing the solid graphite lubricating powder with water, preparing a paste and covering the surface of the chlorinated rubber blade using brush. This is a primitive method for solid lubricating system causing weak bonding forces on the surface as the graphite lubricating particles leaves the surface easily with water flow or movement of wiper arms on the window and lubricating effectiveness gets lost. We selected spraying and curing method to increase the adhesion of graphite on the rubber blade. High bonding forces are due to polymerization reaction in curing and polymerization phase of the coating.

We prepared a solution for this type of bonding at first, then the graphite lubricating powder solved in an adhesive based of solution and with a long time mixing to prevent from the agglomeration of graphite particles. The solution was sprayed on the blade surface with a fixed moving speed and spraying distance to set the coating thickness. At the end, the samples have annealed in furnace at 80°C for 10 minutes for curing and polymerization reactions. Also an optimization study was done in this study to ensure the lower friction coefficient between the wiper blade rubber and glass.

This optimization study is divided into three parts. First part is determination of the optimum ratio for adhesive phase in total solution. As we can imagine, there has to be a minimum ratio of adhesive phase for bonding the all the coating solution and graphite particules onto the surface but there are higher ratios causing high friction levels too. This part of study is divided into five parts and the tests are coded with ‘Y’ letter. Name of the coatings are Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 and with the increasing number on the name, ratio of additive phase has inreased. Y2 coating gave us the best friction results from the tests and there are 20% (weight) of adhesive phase on the solution.

Second part is determination of the optimum graphite lubricant ratio. Names of these five tests are G1, G2, G3, G4 and G5. The ratio of graphite lubricant phase increased with increasing number on the name of the test. G3 coating reached the minimum friction coefficient in these five coating. It is also better than the older conventional coating.

The third part of the optimization study is testing an another solid lubricant hexagonal boron nitride in coating solution. We found all the friction coefficients higher after we added hexagonal boron nitride to the coating solution. We made five

different solution all including hexagonal boron nitride and called B1, B2, B3, B4, B5. The ratio of boron nitride increases in these five coatings with increasing number and the last B5 coating has no graphite lubricant particules in it, B5 coating is consisted of 50% (weight) of boron nitride. Taking into account the results of the friction tests, the hexagonal boron nitride lubricant was not suitable for this coating application.

The next step was to characterize the coatings and measure the friction coefficients of wiper blades. Friction and wear tests were performed in a reciprocating wear testing setup to measure the friction force between the wiper blade and glass at dry and wet conditions. Testing setup is capable to measure the friction in dry and wet conditions continously. It is also capable to changing the sliding velocity, sliding stroke and application loads over the wiper blade.

Wiper blade samples which are prepared with chlorination and coating, cutted to 40mm long and connected to the test device for measuring the frictional forces between glass. Samples were carefully selected and protected until the testing. All the testing areas were cleaned wtih alcohol before every test to take the accurate measurement. Application force of the friction test setup is 155 grams. We sprayed 0,5 ml of distilled water onto the friction table to start the friction test in wet conditions. After that we start the friction test, the velocity of the sliding wiper is selected to 40 mm/s and the sliding stroke is 10 mm. These values were determined with the tests which we took the most stable measurements.

Friction coefficient reaches the top values while the system was just drying. There is a semi phase when the latest water film evaporating from the friction table, this semi phase called tacky phase in literature. After this phase, friction coefficient values decrease a little bit from these higher values. We took the measurement from this tacky phase, because friction coefficient is vey high in this phase and this effects all the wear and sliding properties.

The SEM micrographs were taken for the characterization of wear on the rubber blade and the wear coefficient was calculated from these micrographs. Samples tested for a long time about 90 minutes to provide a explicit wearing on the wiper blade and to calculate the wearing volume on wiper blades. We started to test in wet conditions and after that we did not add water to friction table.

Archard wear coefficient calculated after the wear tests and the Archard wear coefficient is clearly decreased with this new method of coating compare to the conventional wiper blades. After all these tests and studies we found a spesific coating which decrease the friction coefficient. Due to the decreasing friction forces, the new wiper blade is more resistant to the wear effects. Especially, the decreasing friction force is not the only reason on the wearing of wiper blade. We may talk about the effect of coating such as bonding to the wiper blade surface and efficiency of the new coating.

We also tested the samples with different temperatures to see the efficiency and stability of the coating layer. In low temperature tests (10ºC), water condensed over the friction table and caused unstability on the friction coefficient values. In high temperature tests (50 ºC), we measured the friction coefficient better than the low temperature tests. After all these different temperature tests, we did not see any inconvenient situations over the wiper blades such as defect on the coating, melting or seperating from the surface.

As the result, about 32% of performance improvement was seen with this new method of coating compare to conventional wiper blades on friction coefficients and the wear coefficient was substantially lower compare to the conventional wiper blades.

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı daha yenilikçi ve teknolojik bir silecek silgisinin üretimidir. Günümüz koşullarında ulaşım endüstrisi ele alındığında karayolu ulaşımının sahip olduğu yaygınlık oldukça belirgindir. Bu yüzden yağışlı havalarda dahi sürüş güvenliğini sağlamak ve daha temiz bir görüş elde etmek amacıyla silecek sistemleri oldukça önemli bir güvenlik unsuru olarak ele alınmaktadır. Üstelik bu sistemlerin uygulama alanları yalnızca karayolu taşımacılığı ile sınırlı kalmayıp havayolu ve denizyolu taşıtlarını da kapsadığı görülmektedir. Pazarın büyük olması dolayısıyla çetin rekabet koşullarının hakim olduğu piyasada üretici istek ve beklentileri her geçen gün artmaktadır. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında her geçen gün daha teknolojik ürünlerin ortaya konması kaçınılmaz olmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Tez kapsamında hedeflenen çalışma daha iyi silme performansı sergileyebilecek bir silecek silicisinin ortaya konmasıdır. Üretilen silici silginin silme performansının değerlendirilmesi ise yine proje kapsamında üretilecek bir test düzeneğinden elde edilen sürtünme katsayısı verileri ile saptanacaktır. Sürtünme katsayısının yanında yüzeyde kalan kirletici ve su miktarı da silme işlemini karakterize etmede önemli etkenlerdir. Fakat silme işleminde endüstride kullanılan temel parametre sürtünmeye ilişkin verilerin değerlendirilmesi olduğundan sürtünme katsayısı incelenecektir. Bununla beraber kaplama kalitesine ilişkin mikroyapı incelemeleri ve kaplama kalınlığını tayin etmede kullanılacak SEM analizi çalışmalarından da faydalanılacaktır. Kaplamanın yüzeye tutunması ve zamana göre yüzeyden ayrılma miktarını tespit etmede görsel kontroller ve ömür testi verilerinden elde edilen değerler kullanılacaktır.

Geliştirilmesi planlanan silecek silgisinde yüzey işlemlerinin maliyeti ve ulaşılabilir fiyatlarda olmasına önem verilmelidir, çünkü endüstride silecek sistemine ait bileşenler sarf malzemesi olarak görülmekte ve piyasadaki diğer rakiplerinin ötesinde bir fiyat etiketi ile pazara sunulduğunda satış beklentisi düşük olmaktadır. Bu

bağlamda üretimi yapılacak ürüne ait yüzey işlemlerinin sınırlandırılması ve seri üretime uygun bir şekilde fabrika bünyesinde uygulanabilir olması esastır. Deneme amacıyla bu tip kaplamlar gerçekleştirilecektir fakat ürün oluşturma konusunda ortaya çıkan nihai ürünün maliyet süzgecinden geçirilmesi gereklidir.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür çalışmasında kauçuk silici silgilerin yüzey işlemlerine ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Bununla beraber otomotiv üreticisi firmaların çeşitliliği ve üretim proseslerinin ticari sır olarak düşünülmesi nedeniyle ulaşıma açık bilgiler olmaması dolayısıyla konu ile ilgili sınırlı miktarda bilgi mevcuttur. Fakat gerek sürtünmeye ilişkin teorilerin gerekse yüzey işlemlerinin dikatlice incelenmesi neticesinde mevcut ürünün geliştirilmesi amacıyla yapılacak işlemler konusunda bir şema oluşturulmuştur. Yapılması planlanan deneylerle ilgili öngörüler konunun ilerleyen bölümlerinde yer alacaktır.

Literatür özetinde konu iki temel başlık altında ele alınmıştır. İlk olarak yüzeyler arası temas ele alınmış ve bununla ilgili mevcut teoriler incelenmiştir. Bu bölümde yüzey enerjisi ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiye değinilmiştir. İkinci bölümde ise yüzey kaplamaları ele alınmıştır. Yüzey kaplamalrı ve farklı yüzey işlem teknikleri ile değişen sürtünme katsayısıincelenmiştir.

1.2.1 Sürtünme kuvveti

Sürtünme birbirine karşı izafi hareket eden malzeme çiftlerinin harekete karşı direnci olarak değerlendirilebilir. Burada çift olarak nitelendirilen malzemelerin sürtünmelerinde bir gaz ile bir katı arasında gerçekleşen aerodinamik sürtünme olabileceği gibi iki katı arasında gerçekleşen katı sürtünmeside olabilir.

İnsanlık tarihinde gerçekleşen iki büyük keşfin sürtünme ile yakından ilişkisi bulunmaktadır. Bu keşifler arasında sürtünme kuvveti sonucu ortaya çıkan ısı ile ateşin keşfi, bir diğerinde ise daha az sürtünme ile daha çok yük taşınmasını amaçlayan tekerlek örneği bulunmaktadır.

Günlük yaşantımızda sürtünme sürekli karşımıza çıkan bir kavramdır. Kullandığımız otomobillerden, giydiğimiz ayakkabılara dek yaşantımızda yer alır. Endüstride ise büyük miktarlarda enejinin dağılımı ve kaybı sürtünme ile ilişkilidir. Sürtünmeye harcanan enerji ısı enerjisi şekline dönüşerek ortam sıcaklığının yükselmesine neden olur. Soğutucu sistemler ile ısının ortamdan uzaklaştırılması sağlanarak sistemlerin zarar görmesi engellenir. Sürtünme beraberinde aşınma olarak bilinen çok önemli bir diğer kavramıda beraberinde getirir. Sürtünme ve aşınma olaylarını inceleyen triboloji biliminde sürtünmeye ilişkin yasalar ve aşınma olayını karakterize eden teoriler incelenir.

Sürtünme karakteristiklerinin incelenmesinde ise iki temel yaklaşım söz konusudur. Bunlar arasında ilk olarak sertlik derecesi yüksek ve nispeten daha büyük elastik modüle sahip sistemlerin incelendiği Coulomb sürtünmeleri yer alır. İkinci olarak ise biri yumuşak ve bir diğeri daha sert sistemlerin ele alındığı ve kauçuğu da kapsayan Hertz teorisi yer alır. Sürtünmenin bu şekilde iki ayrı bölümde ele alınmasının temel nedeni yüzeyler arasında farklı mekanizmaların işlemesidir.

1.2.1.1 Coulomb sürtünme yasaları

Sürtünmeye ilişkin ilk çalışmalar ünlü bilim adamı Leonardo Da Vinci aracılığıyla ortaya atılmış ve ardından Amontons tarafından geliştirilmiştir. Günümüzde ise fransız bilim adamı Coulomb tarafından son hali kazandırılan bir kaç yasa ile sürtünme işlemi karakterize edilir. Coulomb'a göre;

- Sistemde ortaya çıkan sürtünme kuvveti, temas yüzeyine dik yönde uygulanan normal yük ile orantılıdır,
- Sistemde ortaya çıkan sürtünme kuvveti görünür temas yüzey alanı boyutundan bağımsızdır,
- Sürtünme kuvvetinin büyüklüğü malzeme çiftlerinin kayma hızından bağımsızdır.

Bu üç yasaya ilave olarak bazı durumlarda bir dördüncü yasanın varlığından da söz edilir. Bu yasa statik sürtünme katsayısının dinamik sürtünme katsayısından daha büyük olduğunu belirtir. Coulomb ve beraberinde ki diğer bilim adamlarının sürtünmeye ilişkin deneylerinin bir bölümünü eğik düzlem üzerinde ve yer çekimi kuvvetinin varlığına bağlı olarak maksimum kayma açısını saptamaya yönelik yapılan deneyler oluşturur. Bu sayede statik sürtünme katsayısı, maksimum kayma açısını kullanarak eğik düzlem üzerinde cisme dikey doğrultuda etkiyen yer çekimi ivmesi bileşeni ile saptanabilmektedir.

Yer çekimi kuvvetine dik yönde çalışan ve yeryüzüne paralel sistemlerde ise sürtünme katsayısını veren bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\mu = F / W \tag{1.1}$$

bu bağıntıda yer alan W cismin yer çekimi etkisiyle yüzeye uyguladığı kuvvettir (ilave bir kuvvet olmadığı sürece cismin ağırlığı olarak da düşünülebilir). F ise hareketle aynı yönde ve hareketin gerçekleşmesi için uygulanan kuvvettir. Bu iki kuvvet arası orantı bize sürtünme katsayısı değerini vermektedir ve sürtünme katsayısının birimi yoktur.

Sürtünme katsayısı iyi yağlanmış bir bilya sisteminde 0,001 gibi düşük değerlerde seyrederken, vakum ortamında temiz yüzeyli metallerin sürtünmesinde 10 değerine ulaşabilir. Teknolojik uygulamarın bir kısmında yüksek sürtünme katsayısı istenirken, bir kısmında ise düşük sürtünme katsayısı istenir. Örnek verecek olursak, otomobilin fren diskinin sürtünme katsayısı yüksek bir malzeme olması istenir ve bu ölçüde aracın sahip olduğu kinetik enerji disk üzerinde ısı enerjisine dönüştürülür. Yine otomobil için düşündüğümüzde motor ve şanzuman aksamında bulunan parçaların gereken yüke dayanmasının yanı sıra sürtünme katsayılarınında düşük olması istenir. Aynı zamanda sistemdeki sürtünmeye bağlı olarak aşırı sıcaklık yükselmeleri görülebilir ve bu artışlar sisteme zarar verebilir. Bu amaçla sistemlerin yağlanmasına büyük özen gösterilir ve bahsi geçen parçaların bir bölümü yağ ortamında çalıştırılmaktadır.

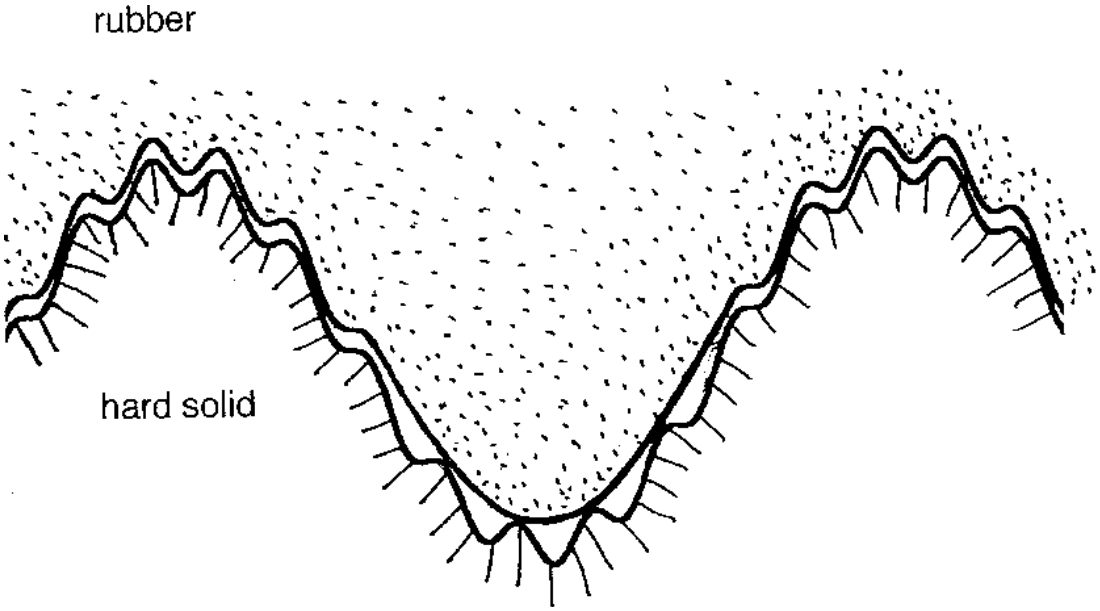
Silici silgi örneğinde ise sürtünme katsayısının düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede sistemin daha düşük enerji ile çalışması sağlanacak ve aynı zamanda yüksek sürtünmenin beraberinde getireceği tribolojik etkiler azaltılarak kullanım ömrü arttırılacaktır.

1.2.1.2 Hertz teorisi

Heinrich Hertz, 1882 yılında yayımladığı 'Elastik Katıların Teması' isimli makalesinde yüksek deformasyonla çalışan düşük elastik modüle sahip malzemelerin yüzey temaslarını ele almıştır.

Kauçuk malzemeleri de içerisine alan ve polimerlerin büyük çoğunluğunun içeren düşük elastik modüle sahip malzemelerin sürtünme karakteristikleri Coulomb yasalarına uymaz. Bunun en temel nedenlerinden birisi bu tip görece yumuşak malzemelerin yüksek elastik deformasyonla çalışmasıdır. Bu tip malzemelerin sürtünmeleri sırasında temas bölgesinde mikro düzeyde oluşan viskoelastik enerjideki değişim miktarı büyük olmaktadır. Bu ise sürtünme kuvvetini arttırıcı yönde rol oynar ve hareket için kullanılan enerjinin bu bölgelerde ortaya çıkan şekil değişimleri ile sönümlenmesine neden olur.

Pürüzsüz gibi görünen iki düz yüzey birbiri ile temas ettirildiğinde, temas tüm yüzey yerine yalnızca birkaç noktada gerçekleşir. Temas yüzeyine dik uygulanan kuvvet arttırıldıkça temas noktalarının sayısı ve temas yüzey alanı artar. Bu temas noktaları aynı zamanda sürtünme kuvvetini oluşturan bölgelerdir. Sürtünme davranışlarının incelenmesinde bu yüzey alanının ölçümü büyük öneme sahiptir ve Hertz yaptığı çalışmalarda yüzey alanının ne boyutta olacağını formüle etmiştir.



Şekil 1.1 : Sert bir altlık üzerinde sürtünme gerçekleştiren kauçuk incelendiğinde büyük pürüzlere nüfuz ettiğini ancak düşük boyuttaki pürüzlerde girişim yapmadığı gözlenir, Persson (2001)'den uyarlanmıştır.

Deneylerini r yarıçapına, E elastik bileşenine sahip kauçuk kürenin sert bir yüzeye w yükü altında bastırılarak oluşan yüzey alanını saptamaya yönelik yapmıştır. Çalışmalarının sonucunda yüzey alanı yarıçapı, a değerinin yukarıda sayılan parametrelerle ilişkisini gösteren aşağıdaki bağıntıyı bulmuştur.

$$a = \left(\frac{3wr}{4E} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{1.2}$$

Formülde yer alan E elastik bileşeni, temasta bulunan malzemelerin; E_1 , E_2 elastik modüllerine ve υ_1 , υ_2 poisson oranlarına bağlıdır.

$$\frac{1}{E} = \frac{(1-\upsilon_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\upsilon_2^2)}{E_2} \tag{1.3}$$

Temas alanı ise uygulama yükü, kürenin yarıçapı ve elastik bileşenlerin 2/3 üssüyle orantılıdır.

$$\pi a^2 = 0{,}83\pi \left(\frac{wr}{E} \right)^{\frac{2}{3}} \tag{1.4}$$

Fakat bu bağıntıların geçerli olduğu koşul sistemin elastik deformasyonla çalıştığı durumdur. Elastik durumda sistem uygulama yüküne $w^{\frac{2}{3}}$ şeklinde bağlı iken, plastik deformasyon durumunda doğrudan uygulama yüküne bağlıdır.

Tezin amacı olarak bakıldığında sürtünme kuvvetini düşürmede en etkili parametre E, elastik modülü bileşeni olarak görülmektedir. Uygulama yükü silici silginin kullanılacak aracın cam yapısına ve karakterine uygun olarak belirlenmektedir.

Daha düşük sürtünme katsayısı elde etmek amacıyla silici silginin elastik modülünün daha yüksek bir değere taşınması hedeflenmektedir. Bu ise silici silginin sertliğinin arttırılması ile mümkündür. Bu işlemi uygulayacağımız yüzey işlemleri ile yapabileceğimiz gibi silici kauçuğun farklı bir hammadde ile üretimiyle de sağlayabiliriz. Doğal kauçuk hammaddesinin sentetik kauçuk malzemelerle değiştirilmesi istenen etkiyi sağlayabilir. Yüzey işlemleri olarak bakıldığında ise halojenizasyon işlemi gibi yüzey sertleştirici proseslerden yararlanılabilir. Bu konu ileride detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

1.2.2 Silici kauçuk yüzey işlemleri

Silici kauçuk silgi üretimi için hazırlanan karışım ekstrüderden enjeksiyon makinesine iletilir. Bu işlemin ardından belirlenen sıcaklıkta ve yeterli basınçta silecek kalıbı içerisine sürülerek bir süre beklenilir. Pişme süresinin tamamlanmasının ardından vulkanize edilmiş silici kauçuk silgisi kalıptan çıkarılır. Konu başlığında geçen yüzey işlemleri bu noktadan sonrasını kapsamaktadır.

Elde edilen silici kauçuğun bu ham haldeki sürtünme katsayısı oldukça yüksektir. Dolayısıyla silecek sisteminde kullanılmaya elverişli değildir. Bu yüzden silici yüzeyinde gerçekleştirilen bir takım yüzey işlemleri ile daha iyi bir yüzey elde edilerek hem sürtünme katsayısı belirli oranda düşürülür, hem de artan aşınma dayanımı ile uzun süreli kullanım sağlanır.

Silici kauçuğun yüzeyi ilk olarak halojenizasyon işlemine tabi tutularak yüzey geliştirilir. Bu işlem endüstride yaygın kullanımı olan bir yüzey işlemi olup temelinde parça yüzeyine kolayca bağ yapan klor, brom, flor veya iyot gibi halojen atomlarının kauçuk yüzeyine bağlanması ile yüzeyin amaca uygun şekilde geliştirilmesi yer almaktadır.

Halojenizasyonun ardından parça yüzeyi daha sertleşmiş ve ıslatılabilirliği arttırılmış olur. Bu ise halojenizasyonun ardından çeşitli kaplamalar için uygun bir yüzey elde edilmesi demektir.

Silici yüzeyine yapılacak kaplamanın kendi bünyesinde bir katı yağlayıcı barındırması ve uzun süreli dayanımı istenmektedir. Geleneksel olarak uygulanan grafitleme tekniğinde yüzeyle yağlayıcı sistem arasında bağ oluşmadığı için yağlayıcı sistem kısa sürede parça yüzeyinden atılır ve istenmeyen aşınma etkilerinin oluşmasına neden olur. Bu yüzden hem yüzeyle tutunmayı sağlayacak, hem de yağlayıcı partikülleri kendi bünyesinde barındıracak ağsı bir şebeke yapısına ihtiyaç vardır. Bu yapı ise reçine bazlı yapıştırıcılar ile sağlanabilir. Literatürde bu tip kaplamalarda kullanılan reçineler çeşitlilik göstermektedir. Bunlar arasında akrilik bazlı reçineler, silikon reçineleri, florine reçineleri, polyüretan reçineleri gibi çeşitli ham maddeler bulunmaktadır.

1.2.2.1 Halojenizasyon işlemleri

Halojenizasyon işlemleri klor, brom, iyot ve flor gibi halojen atomlarının kauçuk yüzeyine transfer olarak yüzeyle bağ yapması ve yapıyı değiştirmesi şeklinde gerçekleşir. Bu sayede kauçuk numunenin yüzey sertliği arttırılarak, eşitlik (1.2)'de Hertz Teorisinde yer alan E sayısının değeri yükseltilir ve temas alanı düşürülerek sürtünme kuvveti azaltılır.

Endüstriyel uygulamalarda halojenizasyon işlemi halojen elementlerini içeren asidik bileşenlerin sulu çözeltileri şeklinde hazırlanırlar. Bu işlem en yaygın metodlardan birisi olup bunun yerine gaz halojenizasyon veya halojenizasyonun alternatifi olabilecek Corona discharge metodu ya da UV radyasyon teknikleri de bulunmaktadır (Maria D., 2004). Bu tekniklerde yüzeyde C-O, C=O ve COO^- yarıbağları oluşturarak ıslatılabilirlik arttırılır.

Islatılabilirliğin arttırılmasının bir çok değişik etkileri mevcuttur. Yüzey sertleştirme haricinde düşünüldüğünde yüzey ıslatılabilirliğinin arttırılması sürtünme kuvvetini arttırıcı yönde rol oynar. Çünkü yüzey enerjisi artar ve bu yüzden yüzeyin temasta bulunduğu yüzeylere olan ilgisi artar. Fakat bu etkinin sonrasında yüzeye uygulanacak olan yağlayıcı tabaka ile oluşan bağlar, yağlama mekanizmasının daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Böylelikle yüzey klorlamanın bir diğer olumlu etkisinden yararlanılmaktadır.

Klorinasyon işlemi kauçuk yüzeyinde çatlaklar ve süreksizlikler oluşturarak kauçuğun mekanik adhezyonunu arttırır. Klorinasyonda yüzeyde klorlu ve oksijenli yarı bağlar oluşturularak kimyasal adhezyon arttırlılır ve yüzey enerjisi iyileştirilir.

Klorla halojenizasyon işleminde uzun reaksiyon süreleri gerekebilir veya zararlı bir bileşen olan klorin ortaya çıkabilir. Bu yüzden ortam havalandırmasının yeterli olması ve gerekli durumlarda maske kullanılması gerekebilir.

Öte yandan kauçuğun sülfürik asit ile yapılan cyclization işlemide yüzey sertleştirmede kullanılır. Bu işlemde ise yüzeyde sülfonik asit yarı bağları ile yüzey enerjisi arttırılarak ıslatılabilirlik sağlanır. Fakat bu uygulama yalnızca kauçuk yüzeyi ile sınırlı kalmayıp esas altlık malzemesini de etkilemektedir. Aynı zamanda sülfirik asit ile gerçekleştirilen cyclization işleminde yüksek oranda asit konsantrasyonu kullanıldığından pek sağlıklı ve uygulanabilir bir yöntem olmamaktadır (Carmen M., 2000).

Klorinasyon banyo bileşenleri

Halojenizasyon banyolarında kullanılan temel klor sağlayıcılar hidroklorik asit (HCl), sodyum hipoklorit (NaOCl) ve trikloro izosiyanürik asit (TCl) olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genel olarak ele alındığında klorlama işlem süresinin TCl kullanımında daha yüksek sürelerde gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Bununla beraber banyoda kullanılan oranları ele alındığında her iki sistem içinde benzer oranlarla karşılaşılır. Literatürde yer alan klorlama banyolarında bu oran TCl asiti için %5 ile %2 arasında değişen değerlerde yer alırken, HCl ve NaOCl banyolarında her iki bileşen için yaklaşık %3 oranında kullanılır.

HCl ve NaOCl bileşenleri distile su ile karıştırılarak toplam oranları sırasıyla 1:2:100 olacak şekilde karıştırılır ve banyo hazırlanır. Hazırlanan banyoya oda sıcaklığında kauçuk numunelerin daldırılmasıyla halojenizasyon işlemi gerçekleştirilir ve işlem süresi olarak istenen yüzey kalitesi göz önüne alınarak 3 dakikadan başlayıp 15 dakikaya çıkan sürelerde çalışılabilmektedir. İşlem için ayrıca sıcaklık etkenine gerek duyulmamakta ve istenen reaksiyonların tamamı oda sıcaklığında gerçekleşmektedir (Radabutra, 2009; Klysubun, 2007).

Klorinasyon işlemi bitirildiğinde yüzeyde asidik çözelti yer almaktadır. Bu hem daha sonra yapılacak işlemler için kaliteyi etkilemekte hem de çevreye zararlı malzemeleri üzerinde tutarak çevreye etkimektedir. Bu yüzden klorinasyon banyosundan çıkarılan numuneler ayrıca bir nötralizasyon banyosuna daldırılırlar. Nötralizasyon banyosu %2 oranında NH_4OH içerecek şekilde deiyonize su ile hazırlanır. Ortalama 5

dakikalık süre yeterli olmaktadır. Nötralizasyon banyosunun ardından ise numuneler durulama banyolarına giderler. Durulama işlemi isteğe göre kademeli olarak da yapılabilir. En son olarak parçanın kurutulması işlemi yapılır.

Klorinasyon işlem süresi

Klorinasyon banyosuna daldırılan kauçuk yüzeyinde reaksiyonlar derhal gerçekleşmeye başlar. Artan süre ile beraber yüzeyde oluşan klorca zengin tabakanın klor konsantrosyonunun arttığı gözlenir. Bu değer belirli bir süre sonra sabit olarak seyreder ve doygunluk düzeyine erişir (Klysubun, 2007).

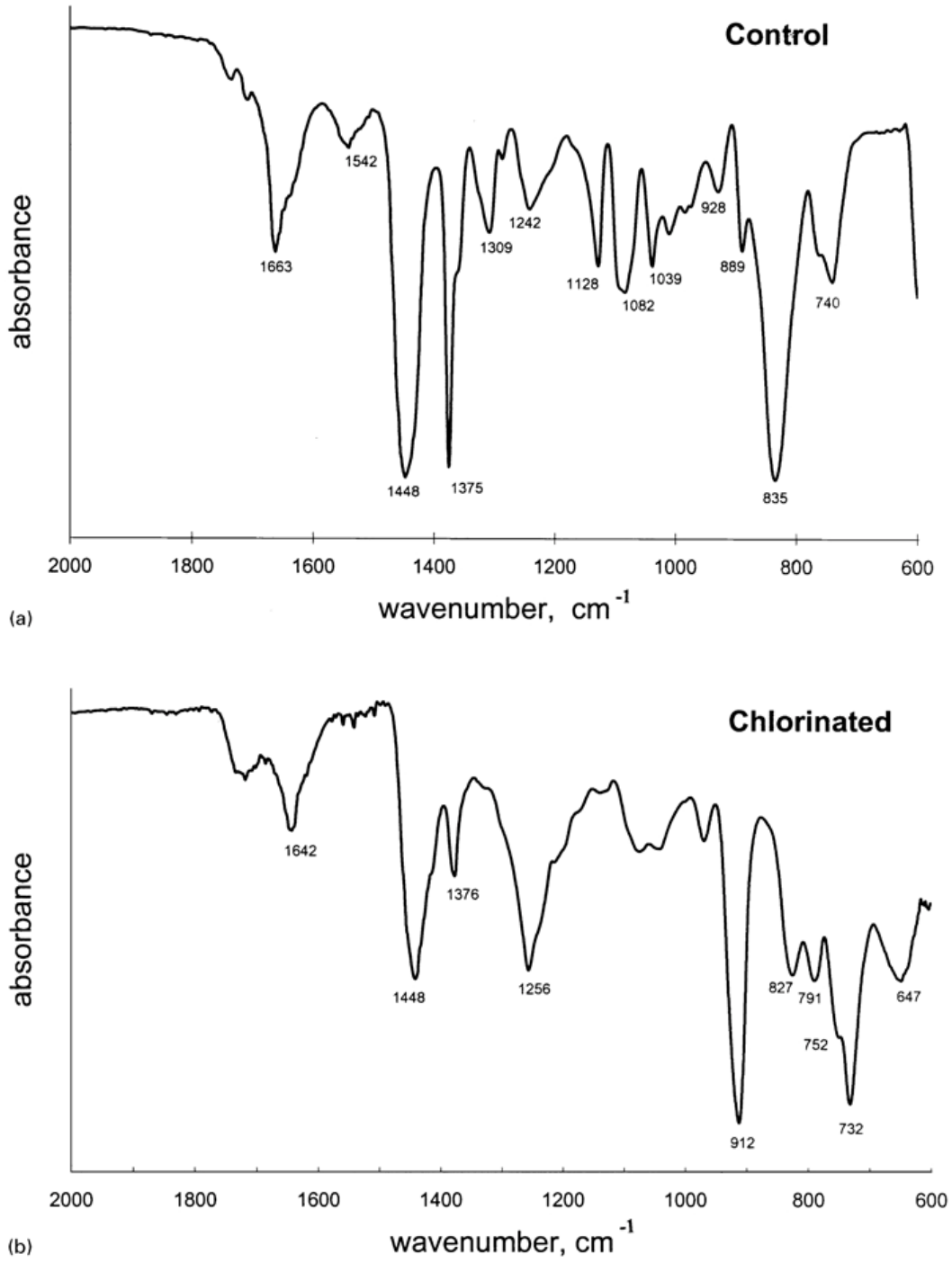
Kullanılan klor bileşeninin tipine göre işlem süresi değişkenlik göstersede HCl asit ve NaOCl banyo sistemlerinde daha etkin ve hızlı klorlama gerçekleştiği bilinmektedir.

Klor oranı kauçuğun banyoya daldırma anından itibaren 6 ile 7 dakika süresince hızlı biçimde artar ve 10 dakika sonrasında sabit seyreder.

Klorinasyon mekanizması

Klorinasyon işlemi sırasında ortamda serbest halde bulunan klor ile kauçuk yüzeyinde yer alan izoprene molekülleri reaksiyona girerler.

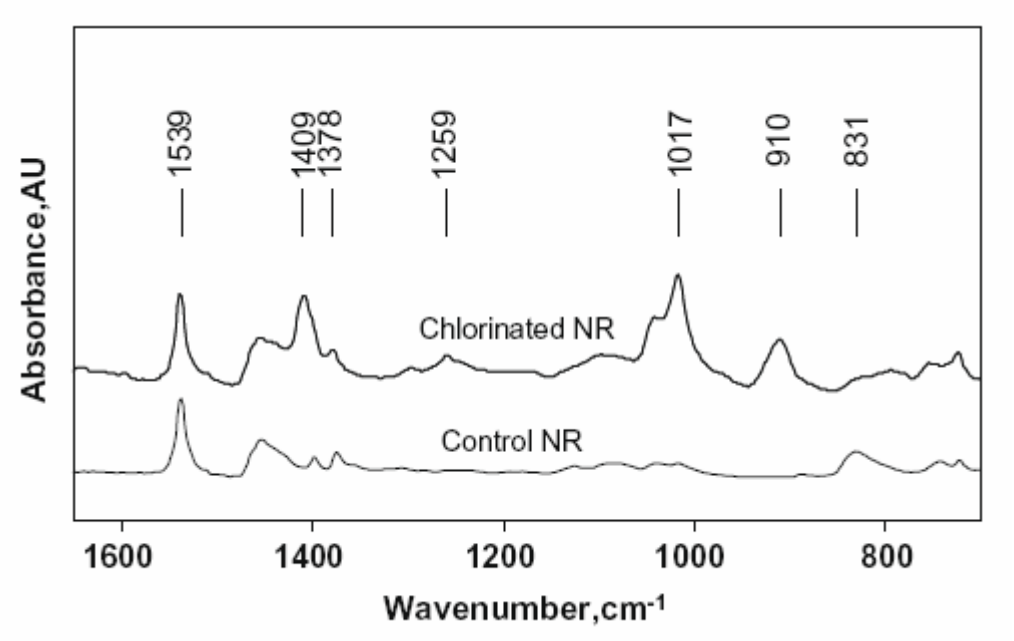
Klorizasyon sonrası yüzeyin incelemesinde oluşan bağların ve çeşitli kimyasal yapıların tespitinde FTIR-ATR spektrofotometresi tekniğinden yararlanılır. Bu teknikle yüzeyden $10\,\mu$m derinlikteki tabakanın bağ yapılarının ve birbirine bağlanan elementlerin tespiti mümkün olmaktadır. Klorine edilmiş ve klorine edilmemiş iki ayrı vulkanize edilmemiş test numunesinin FTIR-ATR spektra örnekleri Şekil 1.2'de yer almaktadır. Klorine edilen yüzeye ait spektrada 650, 730 ve 910cm^{-1} dalgaboylarında üç değişik bandın ortaya çıktığı gözlemlenmektedir. Bu bandların şiddetleri de artan klorinasyon süresine bağlı olarak artmaktadır. 650cm^{-1} dalgaboyunda yer alan absorbans piki C-Cl bağlanmasını göstermektedir. 910cm^{-1} dalga boyunda yer alan pik ise C-Cl grubunun C=C çift bağına bitişik olarak bağlandığını gösterir. 730 ile 790cm^{-1} dalga boylarında ortaya çıkan değişimler ise Cl atomunun karbon yerine bağlanabileceği yapılardan kaynaklanır. 1260cm^{-1} dalgaboyunda C-O bağlanmasını gösteren pikin varlığı ise klorinasyon sırasında yapıya bir miktar oksijeninde girdiğini göstermektedir.



Şekil 1.2 : FTIR-ATR spektraları, vulkanize edilmemiş (a) kontrol numunesi, (b) klorine edilmiş numune, Ho (1998)'den uyarlanmıştır.

Vulkanize edilmiş doğal kauçuk numunelere ait FTIR spektralarda klorine edilmiş ve klorine edilmemiş kontrol numunesinin karşılaştırılması ile yapıda oluşan klor bileşikleri daha belirgin şekilde görülmektedir. Bu çalışmada klorine edilmiş numunede 910cm^{-1} dalgaboyunda görülen pik klorun C=C çift bağını bozarak Cl-C bağlanması gerçekleştirdiğini göstermektedir. Bununla beraber artan klorinasyon süresine bağlı olarak pik şiddetinin arttığı gözlemlenmiştir. Klorine edilmiş

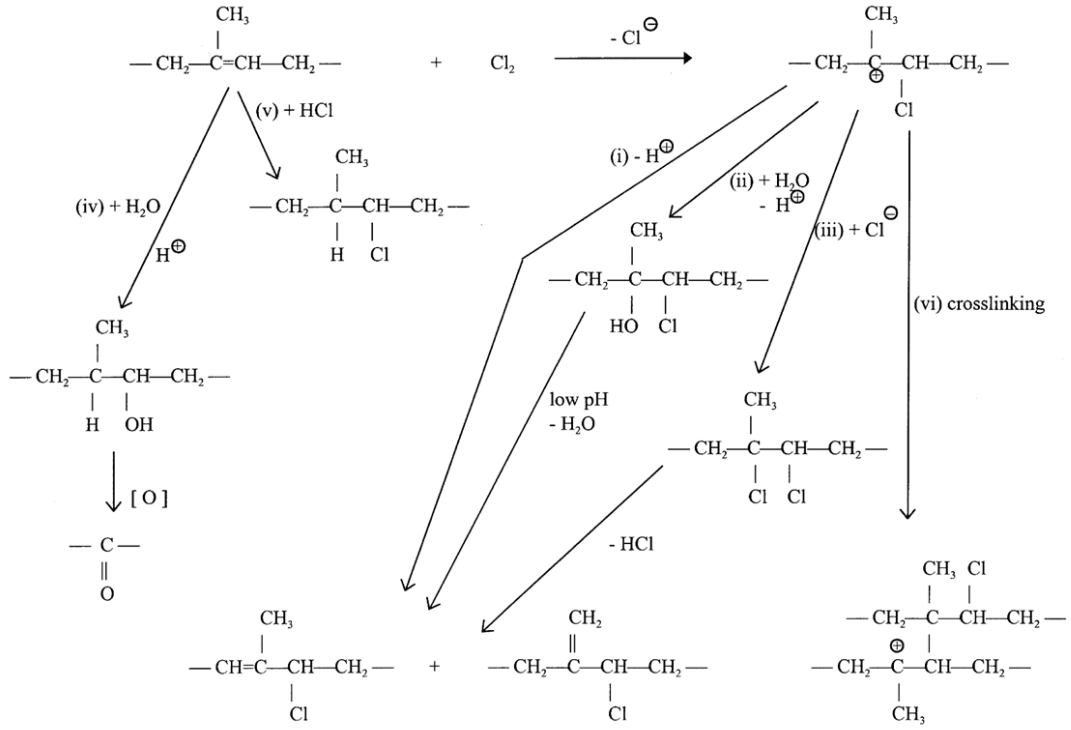
numunede azalan 831cm^{-1} dalgaboyunda ki pik ise yapıda C=C çift bağlanmasının azaldığını göstermektedir. Yapıda çinkosterat oluşumu 1539cm^{-1} dalgaboyunda görülen pik ile doğrulanmaktadır. Çinkosterat ise doğal kauçuk karışımına ilave edilen stearik asit ve çinkooksitin etkileşimi sonucu oluşur. Bunun sonucunda ise serbest kalan oksijen 1017cm^{-1} dalgaboyunda görülen C-O bağlanmasını ve 1259cm^{-1} dalga boyunda görülen O=C-Cl bağlanmasını gerçekleştirerek oksidasyona neden olur.



Şekil 1.3 : Vulkanize edilmiş doğal kauçuğun kontrol ve klorine edilmiş numunelerine ait spektralar, Radabutra (2009)'dan uyarlanmıştır.

Çözelti içerisinde kauçuk yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar Şekil 1.3'te görüldüğü gibidir. Bu reaksiyonlar kauçuk yapısında yer alan bileşenlere göre ve ortam koşullarına göre değişkenlik gösterebilmektedir (asidik veya bazik olma durumuna göre). Çözeltide bulunan klorin ara kademede kauçuk bünyesindeki karbon ile iyonik bir mekanizmayla karbonyum iyonunu oluşturur. Oluşan karbonyum iyonu üç değişik reaksiyona girer. Yapıdan bir hidrojen ayrılması durumunda (i) iki izomerik kloro-izoprene yapısı oluşabilir, klorohidrin oluşabilir (ii) ve düşük pH değerlerinde monokloritler yada yüksek pH değerlerinde oksijenli yapılar oluşabilir, yapıya çözeltiden tekrar bir klorit iyonu girerek dikloritler oluşabilir (iii) ve yapıdan HCl ayrılması ile monokloritli yapılar oluşabilir. Bunların dışında izoprene bileşenine su katılması ile (iv) hidroksil bileşenleri oluşabilir yada yine izoprene yapısına HCl katılımı ile (v) dağınık monokloritler oluşabilir. Kauçuk

zincirlerindeki karbonyum iyonlarının bir başka zincirdeki iyonlarla reaksiyonları sonucu (vi) çarpraz bağlar oluşturulur ve yüzey sertleştirme sağlanır.



Şekil 1.4 : Klorinasyon işleminde doğal kauçuk yüzeyinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar, Ho (1998)'den uyarlanmıştır.

Klorinasyon sonrasında yüzeyde meydana gelen çatlaklı yapının sebebi yüzeyde oluşan klorca zengin tabakanın altlık malzemesi ile olan uyumsuzluğundan kaynaklanmaktadır. Doğal kauçuğun yoğunluğu klorine edildikten sonra artar ve klorca zengin tabakanın elastik modülüde altlık malzemesinden daha yüksektir. Bu uyumsuzluklar neticesinde ise kaplamanın yüzeyden atması gibi benzeri bir durum oluşarak klorca zengin tabaka yüzeyden kalkmaya başlar. Bunun sonucu olarak ise yüzey pürüzlülüğü artar. Özellikle klorinasyonun ilk evrelerinde bu artış oldukça hızlı gerçekleşirken ilerleyen kademelerde azalarak sabit bir değere gelir.

Ayrıca klorine edilen doğal kauçuk termal olarak stabil değildir ve atmosfer koşullarında sıcaklık etkisiyle klorinasyon sırasında oluşan Cl-C bağlarının ortadan kaybolduğu görülmektedir. Yüzeyde oluşan klorca zengin tabakadaki klor konsantrasyonunun da azaldığı bilinmektedir. Ortamda yer alan oksijen gazının etkisiyle zayıf olan bağlar bozunur ve OH, C=O veya C-O bağlarının oluşumu gözlenir (Ho, 1998).

Klorinasyon ile elde edilen yüzey sertliği ve ıslatılabilirliği arttırılmış yeni yüzey bir sonraki aşamada yağlayıcı özellikteki bir kaplama ile kaplanır. Bu kaplamanın kalitesi ortaya çıkarılan silici silginin kalitesine ve sürtünme katsayısına doğrudan etkir.

1.2.2.2 Kendinden yağlayıcılı yüzey kaplamaları

Yüzey kaplamasında istenen temel özelliklerden birisi uzun süreli dayanımdır. Uzun süreli dayanım, kaplamanın yüzeyle arasında bağ oluşturması ile mümkün olabilir. Yüzeyle oluşturulacak bağlar ısı etkisi ile veya polimerizasyon reaksiyonu ile oluşabilirler.

Endüstriyel uygulaması bulunan değişik türde kaplamalar mevcuttur. Yüzey koruma ve renklendirme amacıyla uygulanan boyalarda böylesi bir yüzey işlemine örnektir. Boya kimyasalları içerisinde bulunan reçine bazlı adhesif bileşenler tipine göre sıcaklık ve zaman etkisi ile kuruyarak yüzeyle bağlanma gerçekleştirirler. Bu işlem epoksi bazlı reçinelerde polimerizasyon ile veya ısı etkisiyle kürlenebilen ikili sistemlerde çapraz bağlanmalarla aktif hale gelir. Sonucunda şebeke yapısı oluşturulur ve bu yapı istenen özelliğe göre dizayn edilir. Örnek olarak boyama işlemi için renklendirici partikülleri bünyesinde barındırır ve işlem sonucunda yüzey görünümünde değişiklik ortaya çıkar. Fakat kendinden yağlayıcılı yüzey kaplaması istediğimiz bu uygulamada reçine bazlı şebeke yapısıda zaman içerisinde yüzeyden aşınacaktır. Bu yüzden kaplamanın uzun ömürlü olmasında elde edilen sürtünme katsayısı değerine ve aşınma karakteristiklerine kaplamada kullanılan reçinenin de etkisi vardır.

Kaplamalar genelde su ve solvent bazlı çözücülerde hazırlanırlar. Su bazlı hazırlanan kaplamalarda akrilik reçineler kullanılabilir. Solvent bazlı toluen ve metiletilketon (MEK) çözücülerde hazırlanan kaplamalarda ise değişik türde siloksan veya florin içerikli reçinelerin kullanımı söz konusu olabilir. Bu reçinelerle kullanılan sertleştiricilerde reçine tipine göre özel olarak seçilmeli ve varsa kürleme sıcaklığı ve süresi kaplamanın yapıldığı altlık malzemesi ile uyum göstermelidir.

Doğal kauçuk silici örneğinde uygulanabilecek ısıl işlem sıcaklığı 80°C üzerine çıkmamalıdır. Bu sıcaklık değerinin üzerinde ısıl işlem uygulanmamasının nedeni kauçuğun elastik yapısının bozulmasıdır. Bu ise kaplama yöntemlerini ve yüksek sıcaklıkta kullanılabilecek kaplama metodlarını sınırlamaktadır.

Reçine ve sertleştircisinin yanında kaplama banyosuna ilave edilen katı yağlayıcının tane boyutuda önemli bir etkendir. Bu değer, üzerine kaplama yapılacak silici kauçuğun yüzey pürüzlülüğü ile değişkenlik gösterebilir. Aynı zamanda kaplama öncesi incelenen kaplama banyosunda katı yağlayıcı partiküllerin aglomere olmadıkları gözlenmelidir. Dispersiyonun homojen bir şekilde sağlanması için bazı kimyasallar eklenebilir.

Kendinden yağlayıcı sistemin temel bileşenleri yukarıdakilerdir. Fakat bunların haricinde kaplamanın ozon ve/veya alkol dayanımını arttırmak amacıyla yada su iticilik sağlamak için çeşitli bazı kimyasalların ilavesi de yapılabilir.

Hazırlanan kaplama banyosu yüzeye uygulanırken uygun bir kaplama metodu seçilmelidir. Bu metodlar arasında banyo daldırma veya sprey tabancası ile uygulama yer alabilir. Özellikle sprey tabancası ile kaplama metodunda yüzeye püskürtülen kaplamanın yüzeyde homojen bir film oluşturması ve kürleme öncesi uygun vizkozite ile yüzeye tutunması gereklidir. Vizkozitenin püskürtme işleminden önce uygun şekilde ayarlanması ve duruma göre banyonun seyreltilmesi gerekebilir. Hazırlanan karışımda oluşabilecek hava kabarcıkları sprey tabancasında anlık kesintilere neden olacagından kaplama tabakasında süreksizlikler oluşmasına neden olacaktır. Bu yüzden köpük giderici kimyasalların kullanımı söz konusu olabilir. Buna ilave olarak sprey tabancasına ait püskürtme parametrelerininde homojen bir kaplama sağlayacak şekilde ayarlanması gereklidir. Özellikle hava şiddetinin düşük tutulması yüzeye atılan kaplamanın beraberinde gelen hava ile yüzeyden kaydırılmasını engelleyecektir.

Kürleme işlemi bu evreden sonra gelir. Sprey tabancası ile yüzeye aktarılan kaplama fırına yerleştrilerek belirlenen sıcaklıkta istenen süre bekletilir. Bu sayede reçinenin oluşturduğu şebeke yapısında ve yüzeyde bağlanmalar gerçekleşir. Bu evre oda sıcaklığında kürlenebilen kürleme sıcaklığı düşük adhesif kaplamalarda uygulanmaz.

1.2.2.3 Katı yağlayıcılar

Endüstride kullanılan katı yağlayıcılar kullanım yerine ve özelliklerine göre çeşitlilik göstermektedirler. Başlıca kullanılan katı yağlayıcılar arasında ilk olarak grafit gelmektedir. Grafitin ardından kullanımı yaygın olan fakat daha ziyade yüksek teknoloji uygulamalarda kullanılan, daha pahalı bir diğer yağlayıcı ise hekzagonal

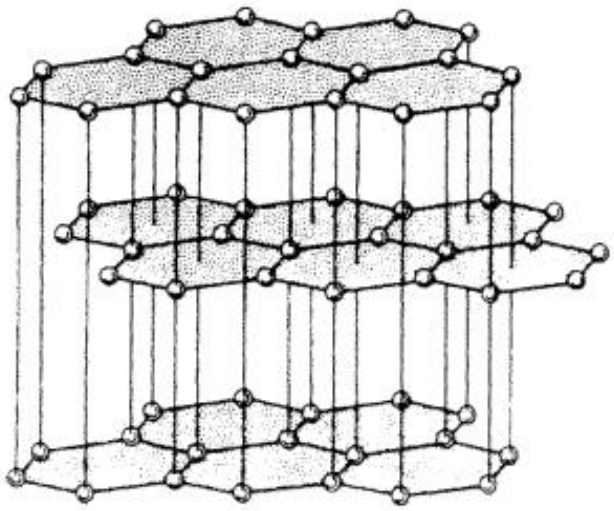
bor nitrür'dür. Bu iki yapının haricinde polytetrafluorethylene (PTFE) polimeride düşük yüzey enerjisi ve düşük sürtünme katsayısı ile etkili diğer bir katı yağlayıcıdır.

Katı yağlayıcıların bütünü incelenirken malzemeler iki başlık altında ele alınırlar. İlk olarak lamelli yapıdaki katı yağlayıcılardan söz ediliriken ikinci sırada polimerik yapıdaki yağlayıcılardan bahsedilir. Bu malzemeler yapısal farklılıklarına göre değişik şekilde yağlama gerçekleştirirler.

Lamelli yapıdaki katı yağlayıcılar grubunun içerisinde grafit, hekzagonal bor nitrür, MoS_2, WS_2, TaS_2, CaF_2, ve BaF_2 yağlayıcılar bulunmaktadır. Bu yağlayıcılardan kalsiyum florit ve baryum florit yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya elverişlidir. Maliyet olarak ele alındığında en düşük fiyata tedarik edilebilen katı yağlayıcı grafit yağlayıcıdır. Hekzagonal bor nitrür ise safiyet ve tane boyutuna göre en pahalı tedarik edilebilecek yağlayıcılar arasında yer alır.

Lamelli yapıdaki katı yağlayıcıların yağlama mekanizması tabakaların birbiri üzerinde kayması neticesinde gerçekleşir. Mekanizmanın temelini lameller arasında bulunan boşluk ve zayıf bağ kuvvetleri oluşturur. Karbon atomlarının aynı tabakada birbiri ile gerçekleştirdiği bağlar kovalent yapıdadır ve bağ uzunluğu 1,42Å değerindedir. Buna karşın tabakalar arasında zayıf Van Der Waals bağlanması bulunur ve bağ uzunluğu 3,35Å değerindedir.

Tek elementli grafit yapısının haricinde geçiş elementlerinden W, Nb ve Mo elementlerinin sülfür ile yaptıkları bileşikler ve bor nitrürün hekzagonal yapısıda benzer şekilde dizilir.



Şekil 1.5 : Lamelli yapıdaki katı yağlayıcıların iç yapısı.

Lamelli yapıdaki yağlayıcıların ardından gelen katı yağlayıcılar polimer esaslı yağlayıcılardır. Polimer yağlayıcılardan en çok bilineni polytetrafluorethylene polimeridir. Bunun haricinde UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Poly Ethylene), polyamid ve poliüretan malzemeleride düşük sürtünme sağlayan polimerler sınıfında yer alırlar.

Polimer yağlayıcıların bozunma sıcaklıkları düşüktür. Bu yüzden daha düşük sıcaklıklarda kullanılmaya elverişlidirler. Lamelli yapıdaki yağlayıcılar ise korozif etkiler dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda kulanılamazlar. Silici kauçuk örneği düşünüldüğünde 80°C değerindeki maksimum kullanım sıcaklığı katı yağlayıcıların kullanımı için herhangi bir sorun oluşturmaz.

1.3 Hipotez

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda elde edilen bilgiler ışığında silici silginin iyileştirilmesi için yüzeye tutunan kendinden yağlayıcılı bir kaplama ve bu kaplamanın yapışmasını arttırmak için bir halojenizasyon işleminin gerekli olduğu görülmektedir. Uygulanacak yöntemlerin seri üretime uygun olması önem teşkil eden bir diğer konudur ve bu koşullar doğrultusunda en uygun yöntem olarak kaplama öncesi yüzey pürüzlülüğünü arttırmak ve yapışkanlığı iyileştirmek amacıyla uygulanan halojenizasyon işlemi ve bu işlemin ardından tatbik edilecek içerisinde katı yağlayıcı partiküller barındıran bir yağlayıcı sistem uygulaması yer alır.

Yüzey pürüzlülüğünün arttırılması ve daha iyi yapışma sağlamak amacıyla uygulanabilecek halojenizasyon işlemleri kendi içlerinde klorinasyon, brominasyon, iyodizasyon gibi çeşitli dallara ayrılır. Halojenizasyonun alternatifi olarak, Corona Discharge yöntemi ile yüzeyden sıçratılan atomlar ile yüzey pürüzlülüğü oluşturulur. Bunun yanında derişik sülfirik asit ile doğal kauçuk numunelerin muameleside literatürde karşılaşılan yüzey işlemleri arasında yer alır.

Yağlayıcı kaplamada ise bir çok alternatif mevcuttur. Fakat bu alternatifler içerisinde dikkat edilmesi gereken en önemli ayrıntı yağlayıcı sistemin altlık malzemesi doğal kauçuk ile olan uyumudur. Doğal kauçuk polimerik yapısı gereği esnek bir malzemedir. Uygulanan halojenizasyon işlemi ile yüzey sertliği arttırılmış olsa da genel davranışı yine elastik özelliktedir. Halojenizasyon işleminde halojen atomlarınca zengin olan tabakanın kalınlığı yaklaşık 10µm civarındadır ve ısı ve atmosferik koşullar etkisi ile zaman içerisinde bu tabakadaki halojenizasyon işleminin etkinliği azalmaktadır. Dolayısıyla uygulanacak yüzey kaplama işleminin de elastik özellikte olması en önemli koşullardan birisidir.

Silici silginin iyileştirilmesinde silici kauçuk yüzeyine uygulanan yüzey işlemleri ve bu işlemlerin optimizasyonu üzerinden hareket edilecektir.

Çalışmanın temelinde uygun halojenizasyon banyo parametrelerini belirlemek ve altlık malzemesi ile uyum gözeten bir kaplama sisteminin silici silgiye uyarlanması yer almaktadır. Bu amaçla değişik halojenizasyon banyo bileşenlerinde çalışmalar yapılacak ve sonuçları değerlendirilecektir. Kaplama sistemi içinde yine aynı şekilde bir kaç farklı bileşim denenecek ve uygun özellikte bir kaplama belirlenmeye çalışılacaktır.

2. SİLECEK SİSTEMİ VE SİLİCİ SİLGİ

2.1 Silecek Sistemi

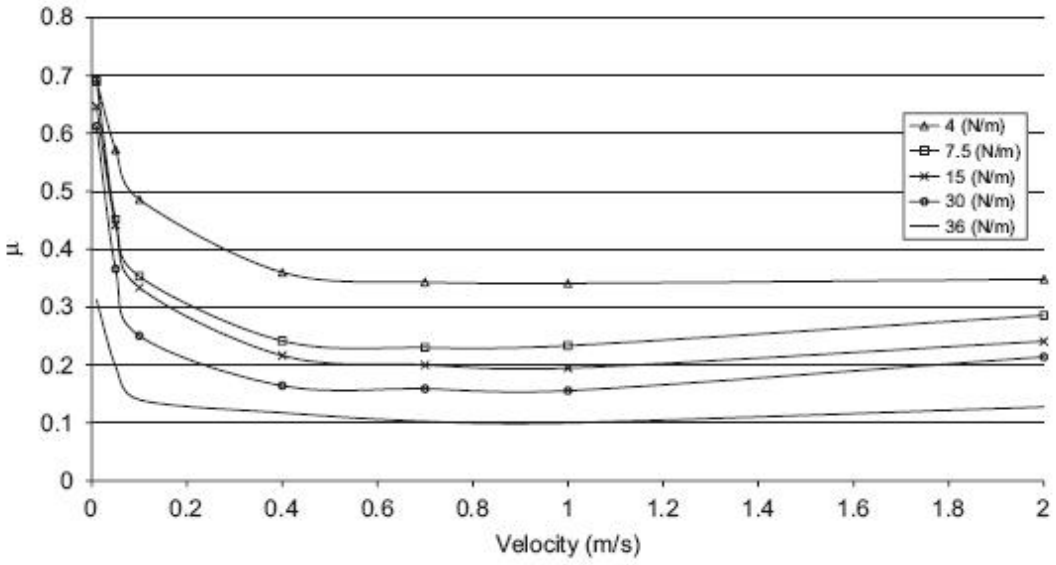
Silecek sistemi esas itibariyle cam üzerinden su ve diğer kirleticilerin uzaklaştırılmasını sağlar. Araç sürücüsüne temiz ve sağlıklı bir görüş kazandırmak için dizayn edilen sistem zaman içerisinde birçok teknolojik gelişmeye uğradıysa da temel nitelikleri geçmişten günümüze pek az değişikliğe uğrayarak taşınmıştır. Ortaya çıkan ilk tasarımlarda araç camı üzerine uzanan bir kol ve kolun bağlı olduğu mekanik bir düzenek ve silme işlemini gerçekleştiren kauçuk esaslı bir silici görülmektedir (Horton, 1936). Zaman içerisinde hem yolcu hemde sürücünün görüş açısını daha etkin şekilde temizlemek amacıyla iki kollu silecek sistemleri daha yaygın hale gelmiştir.

İki kollu sistemlerde de günümüzde farklı tasarımlar kullanılabilmektedir. Örnek olarak birbirine göre bağıl hareketleri paralel olan sistemlerin yanında bağıl hareketleri birbirinin tam tersi olan sistemler gösterilebilir.

2.1.1 Silecek kolu

Silecek kolu içerisinde bulunan bir yayda biriktirilen potansiyel enerji ile silici silginin belirli bir kuvvet altında yüzeye bastırılır. Fakat uygulanan baskı yükü ve baskı şiddeti silici profili boyunca değişkenlik gösterebilir. Otomobil üreticilerinin tasarladıkları cam formuna bağlı olarak silici üzerine uygulanan baskı yükünde homojen olmayan yük dağılımı gözlenebilir. Bu tip problemlerin çözümünde izlenen yol ise uygulanan baskı yükünün yalnızca bir noktadan değil bir kaç değişik noktadan silici üzerine aktarılmasıdır. Bu sayede hem yük daha homojen şekilde silici silgi üzerine dağıtılır hem de ön cam formuna bağlı olarak ortaya çıkabilecek yük değişimleri daha iyi kontrol edilir. Baskı nokta sayısını arttırmanın haricinde yararlanılan bir diğer yöntem ise sırt bölgesine yerleştirilen bir yay ile yükü dağıtmaktır. Ancak bu yöntemde kullanılan yayın dizayn parametreleri ve elastikiyetine ilişkin değerler dikkatli seçilmelidir.

Silecek sisteminde kol baskı yükünün değeri iyi ayarlanmalıdır. Bu değer silme işleminin kalitesini belirlemede ve sürtünme katsayısının değişimi üzerinde etkilidir. Islak ortamda yapılan sürtünme testlerinde görüldüğü gibi artan yük ile sürtünme katsayısının azaldığı gözlenmiştir. Baskı yükünün yanında sıcaklık, sürünme hızı ve kaplama kalitesi gibi etkenlerde sürtünme katsayısı üzerinde etkilidir. Yapılan denemelerde en uygun hız olarak 0,4m/s değerlerinde sistemdeki sürtünmelerin en düşük düzeyde seyrettiği görülmüştür (Koenen, 2006).



Şekil 2.1 : Islak koşullarda sabit sıcaklıkta değişen silici hızı ve baskı yükleri altında sistemde ölçülen sürtünme katsayıları, Koenen (2006)'dan uyarlanmıştır.

Baskı yükünün aşırı yüksek olması durumunda silici silginin ileri geri silme hareketini yaptığı sırada normal temas yüzeyinin aşırı oranda artması gibi bir durumla karşılaşılabilir. Bu dolaylı olarak sürtünme katsayısınında aşırı artışına neden olur. Sürtünmenin aşırı yüksek olması istenmediği gibi oldukça düşük olmasıda istenmemektedir. Sistem özellikle dönüş noktalarında yeterli derecede sürtünmeye sahip olmalıdır. Örneğin ıslak ortamlarda çalışma sırasında elastik modülü yüksek silicilerde uygun yöne yatmama sorunu ile karşılaşılmaktadır. Bu yüzden altlık malzemesinin seçimi dikkatli yapılmalıdır.

Yeni üretilen silecek sistemlerinde ise silici parçayı tutan ve bunu silecek koluna bağlayan tutucu kısmının tek bir parça halinde üretildiği gözlemlenmektedir. Silici kol üzerinde özellikle yüksek süratlerde ortaya çıkabilecek hava akış bozukluklarından kaçınmak, rüzgar sürtünmesini azaltarak aerodinamik parametrelerden daha az etkilenmek ve silme performansını iyileştirmek amacıyla aerodinamik geliştirmeler yapıldığı gözlenmektedir. Bu aynı zamanda silicinin hareketine de etkiyerek daha rahat bir silme işlemi gerçekleştirilmesini sağlar.

Sistemin en önemli parçası konumunda bulunan kauçuk silici için en uygun malzemeler elastik özellik gösteren kauçuk tipi malzemelerdir. Bu tip malzemeler silici silginin çalışması esnasında ön camın formuna uygun biçimde camın şeklini alarak yüzeyi etkin şekilde temizlerler. Fakat kauçuk tipi malzemelerin gösterdikleri yüksek sürtünme katsayıları bir tezat olarak karşımıza çıkar. Bu problemin çözümünde ise yüzey geliştirme işlemlerinden faydalanılır.

Silici silgi olarak kullanılabilecek kauçuk tipleri arasında; doğal kauçuk (NR), isoprene kauçuk (IR), butadiene kauçuk (BR), stiren-butadiene kopolimer kauçuk (SBR), akrilonitril-butadiene kopolimer kauçuk (NBR), kloroprene kauçuk (CR), florin katkılı kauçuk (FKM), butil kauçuk (IIR), ethilen-propilen kopolimer kauçuk (EPM), ethilen-propilen-dien terpolimer kauçuk (EPDM), hidrate nitril kauçuk (hydrated NBR), silikon kauçuk, epiklorohidrin kauçuk (CO, ECO), polysulfide kauçuk (T) ve urethane kauçuk (U) yer almaktadır. Hangi tip kauçuk malzemenin kullanılacağının tespiti servis koşulları, silme performansı, üretim parametreleri ve üretim maliyeti göz önüne alınarak belirlenir. Otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan silici silgi kauçukları arasında doğal kauçuk, EPDM, stiren-butadiene kauçuk ve yeni uygulamalarda karşılaşılan chloroprene kauçuk göze çarpmaktadır.

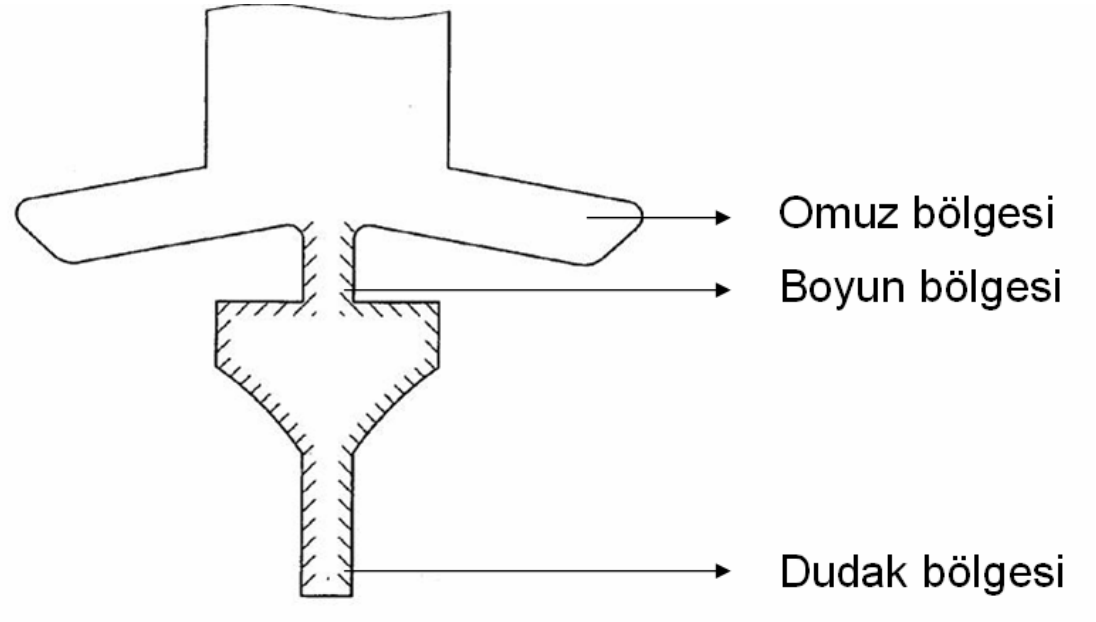
2.1.2 Silici silgi

Endüstriyel uygulamalarda, doğal kauçuk yüzeyinin vulkanizasyon işlemi sonrasında yüksek sürtünmeli ve yapışkan özellik göstermesi, kauçuğun bu tip uygulamalarda direkt kullanımını engeller. Özellikle bir başka malzeme ile birlikte çalışan sürtünmeli sistemlerde kauçuğun yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi gereklidir.

Silici imalatı sırasında kullanılan kauçuğun yanı sıra silicinin bağlı bulunduğu silecek kolu tasarımları ve silici tasarımlarıda firmalara ve modellere göre farklılık göstermektedir. Silme performansına etkiyen en önemli tasarım parametresi dudak

bölgesinin yapısıdır. Bu alanda üretici firmalara bağlı olarak farklı tasarımlar ve geliştirmeler gözlemlenmektedir.

Özellikle dudak bölgesi etrafında gözlenen yeni tasarımlarda uca doğru sivrilerek gelen bir yapı yerine, üçgenimsi bir form tercih edilmektedir. Tasarımda bir diğer önemli nokta ise dudağın üzerine yattığı kısımlarda gözlenmektedir. Bu kısım özellikle silicinin hareket yönünü değiştirmesi sırasında dudağın belirlenen yöne yatmasını kolaylaştırır. Açılı olan modern tasarımda yatma yönünün değişmesi sırasında silicinin daha kolay dönüş yaptığı ve dönme sırasında silecek kolunun daha az yükselti farkı gerçekleştirdiği gözlenmiştir.



Şekil 2.2 : Yenilikçi dudak tasarımı ve açılı şekildeki omuz bölgesi, Mizote (2008)'den uyarlanmıştır.

Silici silginin dudak boyu sistemin sürtünme karakteristikleri üzerinde yakından etkilidir. Bunun nedeni ise gereğinden fazla uzun olan dudak boyundaki silicinin cam üzerinde daha fazla yatarak daha yüksek yüzey alanında sürtünmeye başlamasıdır. Artan temas alanı dolayısıyla sürtünme katsayısında artış görülür. Bu durum ıslak/kuru geçişinin yaşandığı ara faz bölgesinde silicinin çok yıpranmasına ve yüzeye uygulanan yağlayıcı kaplama tabakasının çabuk aşınmasına sebep olur. Dudak boyunun fazla kısa olması halinde ise silici yeterli miktarda yatamaz ve etkin bir temizlik gerçekleştiremez. Tüm bu etkenler göz önüne alınarak dudak boyunun yeterli ölçüde hesaplanması gerekir.

2.2 Silici Silginin Üretim Metodu

Üretimi yapılacak silici silgi için üç farklı metod kullanılabilir. Bu üç metodun herbiri endüstride kullanılmaktadır. Bu metodlar enjeksiyon ile üretim, kompresyon ile üretim ve ekstürizyon ile üretim şeklindedir.

Kompresyon ve enjeksiyon teknikleri kıyaslandığında ise kompresyon daha verimli bir teknik olarak karşımıza çıkar. Bu iki teknik üretim hızı olarak pek değişkenlik göstermez ancak elde edilen yüzey kalitesi kompresyon ile üretimde daha kalitelidir. Enjeksiyon ile üretimde ham mamülün kalıba dolması için yolluk üzerinde belli miktarda hacmi doldurması gerekir ve bu kısımda üretim sonucunda hurdaya ayrılır. Dolayısıyla gereğinden fazla malzeme kullanımı sonucunda üretim maliyeti artar.

Enjeksiyon metodu ve kompresyon metodunun ekstürizyon ile üretime oranla üretim hızları düşüktür dolayısıyla parça maliyeti arttırılmış olur. Ekstürizyon ile üretim metodu sürekli bir yöntem olduğu için parça üretiminden sonra uygulanacak ısıl işlemler ve yüzey işlemleri gibi ara kademeler tek kademede ürüne uygulanabilir. Parça üretildikten sonra yine süreklilik bozulmadan halojenizasyon banyosuna daldırılarak yüzey kaplaması için ayrı bir sürekli kabinde işlem görebilir. En son olarak parça istenen boyutta kesilerek ham mamülden son ürüne dek kontrollü bir üretim gerçekleştirilebilir.

2.3 Silici Silginin Silme Performansının İncelenmesi

Silme performansının belirlenmesinde etkin birkaç temel parametre bulunur. Bu parametreler arasında; silme işlemi sırasında harcanan enerji ve bununla bağlantılı olarak ortaya çıkan sürtünme kuvveti, silme işleminin ardından yüzeyde kalan kirleticiler ve su miktarı, silme işlemi sırasında ortaya çıkan gürültü düzeyi gibi etkenler bulunur. Buna ilave olarak parçanın kullanım ömrü, parçanın değişen servis sıcaklıklarına karşı dayanımı, oksitleyici atmosfer dayanımı, kauçuk üzerinde oluşan tribolojik etkiler ve üretim maliyetleri gibi etkenlerde silme performansına direkt etki göstermeseler de performansı üzerinde etki oluşturabilecek etmenler arasında yer alırlar.

Silme performansına etkiyen ürün özelliklerinin en önemlileri arasında; cam yüzey ile silici parça temasında ortaya çıkan sürtünme kuvveti, silici parçanın elastikiyeti ve yüzey özellikleri yer almaktadır.

Tüm bu özelliklerin tespiti, silme performansını değerlendirme sürecinde gereklidir. Bu durum ise silecek sistemi düşünüldüğünde kauçuk malzeme ile cam yüzey arasında gerçekleşen temasa ilişkin bilgi edinilmesini şart koşmaktadır. İlk bölümde yer alan elastik malzemelerin diğer malzemelerle oluşturdukları teması Hertz teorisine göre ele alınmıştır. Ayrıca yapılan denemelerde silecek silgisi ile cam yüzey arasında gerçekleşen temas esnasında ortaya çıkan sürtünme verilerini sürekli incelemek amacıyla silme performansı test düzeneğinden yararlanılacaktır.

2.3.1 Silici silginin farklı fazlarda çalışması

Silici silginin altlık malzemesine bağlı olan etkenlerin haricinde ortam koşullarına bağlı olarak da silme performansı değişkenlik gösterebilir. Örneğin silici silginin çalıştırılması ve silme işlemi genel olarak ıslak fazda başlar. Fakat suyun sistemden buharlaşması neticesinde ortam koşullarının değişmesi sonucu silici kuru fazda çalışmayı sonlandırır. Bu iki fazda silicinin çalışma karakteristikleri bütünüyle değişir. Sürtünme kuvvetinin kuru fazda yaklaşık olarak iki misline çıktığı gözlenir.

Sistemin en kritik noktası ıslak fazdan kuru faza geçiş sırasında ki ıslak-kuru faz geçiş bölgesidir. Tam kurumanın gerçekleştiği bu bölge literatür de *tacky* fazı olarak ele alınır. Bu arafaz bölgesinde sürtünme değeri sistemde gözlenen maksimum değere yükselir. Bu bölgenin karakterize edilmesi ve bu bölgedeki sürtünme katsayısının olabildiğince düşük tutulması önemlidir. Bunun nedeni ulaşılan yüksek sürtünme katsayısı dolayısıyla sistemin zarar görebilecek düzeye gelmesidir. Proje kapsamında üretimi gerçekleştirilen sürtünme katsayısı analizi cihazı ile bu evrelere ilişkin ölçümler yapılmış ve literatürde yer alan bilgilerin doğru olduğu gözlenmiştir..

Arafaz bölgesinde ortaya çıkan sürtünme katsayısı üzerinde etkili bir diğer parametre kol baskı yüküdür. Kol baskı yükünün arttırılması bu bölgede ortaya çıkan sürtünme katsayısı değerini büyük oranda arttırır. Ayrıca silici silginin silme hızı da oldukça önemlidir. İkinci bölümde kol baskı yükünün sürtünme katsayısına etkisi görülmektedir ve yavaş gerçekleşen silme işleminde sürtünmenin ciddi oranta arttığı gözlenmiştir.

Silici silginin silme performansının ölçümleri yapılırken denemelere ıslak ortamda başlanacak ve sistem kuruyana dek sürdürülecektir. Bu bölüme ilişkin ayrıntılar deneysel sonuçlar bölümünde ele alınacaktır.

2.3.2 Sürtünme kuvveti test düzeneği

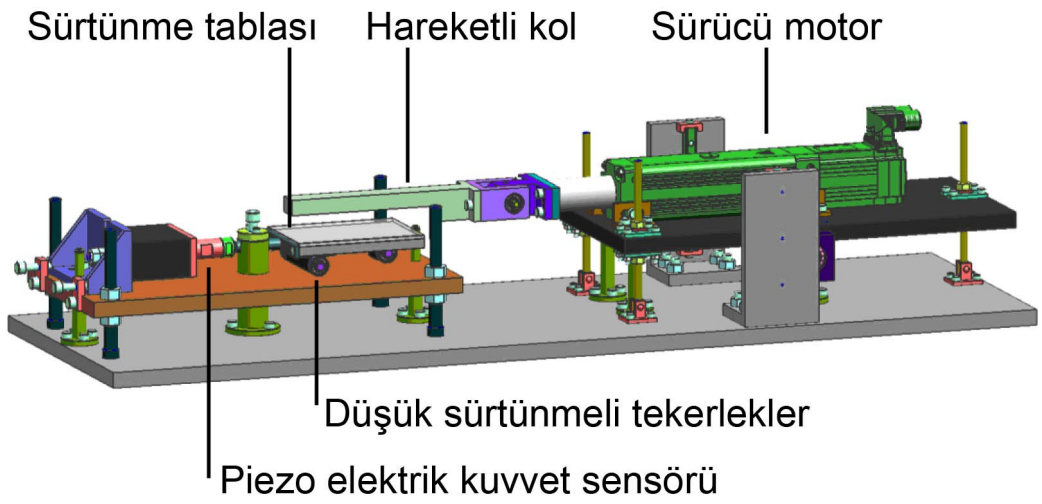
Literatürde sürtünme katsayısının ölçümü amacıyla hazırlanan düzeneklerin genelinde ikili sistemin birbirine göre bağıl hareketini sağlayan bir ünite bulunur. Bu ünite aracılığı ile silici silginin konumu zamana bağlı olarak ölçülerek hızı ve kayma yolu hakkında veriler elde edilir. Bu noktadan itibaren tasarımlar farklılık göstermektedir.

Analizin hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi için parçaların birbiri üzerindeki bağıl hareketi için harcanan enerjinin ne kadarlık bir bölümünün sürtünme enerjisine harcandığı hassas bir şekilde tespit edilmelidir. Bunun için birkaç değişik teknikten yararlanılabilir. Bu tekniklerden en yaygın olanı piezo elektrik kuvvet algılayıcılarının kullanımıdır. Bu algılayıcılar bağıl hareketin gerçekleştiği hat üzerine sabitlenmelidir ve hat üzerinde hareketi engelleyen veya sönümleyen malzemeler olmamalıdır.

Piezo elektrik algılayıcı hareket sırasında bağlı olduğu konuma iletilen ve sürtünme kuvvetinden kaynaklanan kuvvete bağlı olarak üç boyutlu deformasyona uğrar. Bu esnada piezo elektrik malzemenin bir özelliği olarak bir potansiyel gerilim üretilir. Ortaya çıkan bu gerilmenin ölçümü ile sürtünme kuvveti tayin edilebilir. Fakat algılayıcıda deformasyona bağlı olarak üretilen voltaj çok düşük düzeydedir, bu voltajın uygun şekilde amplifiye edilmesiyle ölçüm gerçekleştirilir.

Piezo elektrik algılayıcıların haricinde de sürtünme kuvveti ölçüm metodları mevcuttur. Karşılaşılan bir teknikte bağıl hareketi gerçekleştiren platformu hareket ettiren tahrik motorunun üzerinden geçen akımın ölçümü ile sürtünme analizi yapılmaktadır. Yine elastomerik bir malzemenin sürtünmesine ilişkin incelemelerin yapıldığı bir düzenekte bu amaçla bir yay kullanıldığı gözlenmektedir. Yaya iletilen sürtünme kuvvetine bağlı olarak gerçekleşen burulmanın ölçülmesiyle sürtünme kuvveti saptanır (Bureau, 2003).

Proje kapsamında üretimi gerçekleştirilen test düzeneği ile silici silginin sürtünme karakteristiklerine ilişkin denemeler yapılmaktadır. Denemeler sonucunda sistemden elde edilen sürtünme verileri incelenerek siliciye ait sürtünme katsayısı tespit edilmektedir.



Şekil 2.3 : Sürtünme kuvveti test düzeneğine ait teknik resim.

Ticarı olarak üretimi yapılan tribometrelerde bu şekilde hazırlanmaktadır ve çok gelişmiş sürtünme donanımları mevcuttur. Fakat gerek bu cihazların silecek sistemi için uygun olmaması ve gereksede ortam koşullarına bağlı olarak ıslak ortamda veya kuru ortamda çalışmaları sırasında yaşanan zorluklar dolayısıyla silici örneği için uygun değillerdir. Silecek sisteminin çalışma koşullarını daha iyi simüle etmesi amacıyla spesifik bir test düzeneğinin oluşturulması hedeflenmiştir.

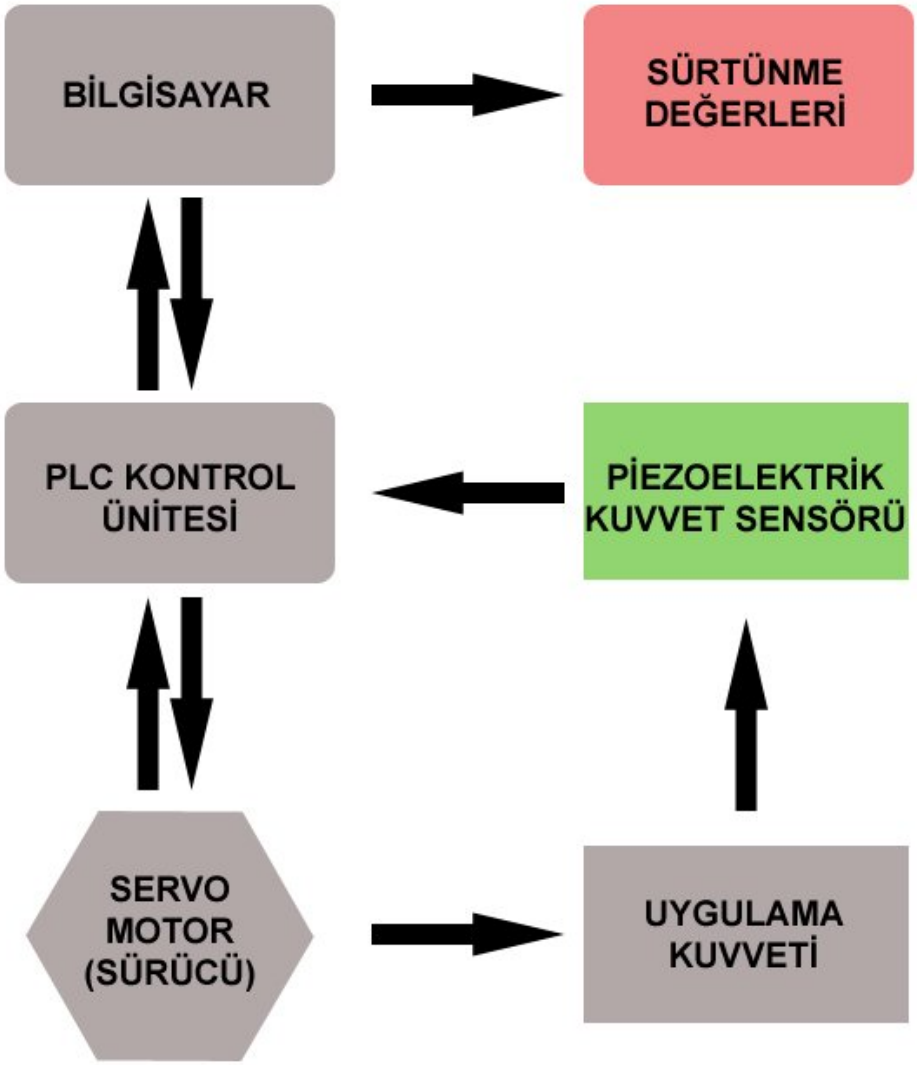
2.3.3 Sürtünme katsayısı analizinin gerçekleştirilmesi

Test gerçekleştirilmeden önce cihazın sürtünme düzeneğinin kontrolü yapılır ve sürtünme kuvvetini algılayan kuvvet sensörünün herhangi bir şekilde bir başka elemana temas etmesi engellenir. Böyle bir durumda sensör üzerinde sürekli kuvvet okunacak ve elde edilen sürtünme değerleri gerçek değerleri yansıtmayacaktır.

Bu işlemin ardından test yapılacak numune hazırlanır. Sürtünme kuvveti test düzeneğine testi yapılacak olan silecek profili için uygun ağızlık takılır. Testi yapılacak numune 40 mm boyunda kesilerek ağızlığa bağlanır. Bağlanan silicinin ağızlık içerisinde hareket etmemesi gerekir. Teste başlamadan önce cihazın kalibrasyonu yapılmalıdır.

Sistem Şekil 2.4'de bulunan çalışma sistematiğine göre hareket eder. Sisteme komutlar (kol ilerleme hızı ve kol ilerleme mesafesi – stroke mesafesi) bilgisayar aracılığı ile gönderilir. Yüksek hızlı veri bağlantı kablosu ile komutlar cihaza

gönderilir. Cihaz üzerinde bulunan PLC ünitesi sürtünme kolunun konumu ve hızı gibi verileri üzerinde bulunan sensörler aracılığı ile sürekli kontrol etmektedir. Aynı zamanda gelen veriler doğrultusunda bağlı bulunan servo motorun işleyişini yönetmektedir. Uygulama kuvveti sürtünme hareketini gerçekleştiren kol üzerinde yer alan ağırlık şablonları ile ayarlanır.



Şekil 2.4 : Sürtünme kuvveti test düzeneğinin çalışma sistematiği.

Bu konumda cihaz sürekli bir şekilde ileri geri hareketini gerçekleştirmekte ve silici silginin silme koşullarını simüle etmektedir. Islak ortam çalışmasını karakterize etmek amacıyla sürtünme tablası ıslatılarak deneye ıslak ortamda başlanır. Sürtünme

sırasında üzerinde yük oluşan tablaya bağlanan piezoelektrik kuvvet algılayıcısı ile sürtünme değerleri okunur.

Tüm bu süreç boyunca iletilen komutlar ve sensörler aracılığı ile alınan yanıtlar, cihaz için üretilen bir yazılım vasıtasıyla bilgisayar ekranında görülmekte ve sürtünme kuvvetine ilişkin değerler çıktı olarak alınmaktadır.

Islak ortamda başlanan sürtünme testleri, ortamdaki suyun buharlaşmasına bağlı olarak önce ıslak/kuru arafazında ve ardından kuru fazda seyreder. Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen sürtünme değerlerinin gerçekteki değerlere uygun olduğu gözlenmiştir. Gerçekte gözlenen sürtünme deneyinde en düşük sürtünme ıslak fazda ortaya çıkar. Ortamdan sıvının uzaklaşmasının ardından kuruma fazında en yüksek sürtünme değeri gözlenir. Daha sonrasında devam eden kuru fazda ise ıslak/kuru arafazından daha düşük ve ıslak sürtünmeden daha büyük bir sürtünme değeri oluşur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan deneysel çalışmaların analizinde ve nihai ürüne dönüşecek ara ürünlerin incelemesinde çeşitli ekipmanlardan ve deneysel tekniklerden yararlanılmıştır. Bu ekipmanlar arasında; proje kapsamında hazırlanan ve silici silgi uygulamasına yönelik tasarlanan bir sürtünme kuvveti analiz cihazı, mikro düzeydeki yüzey analizi ve incelemeler amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop, halojenizasyon işlemi sonrası yüzeyde biriktirilen klorca zengin tabakanın elementel özelliklerinin tespiti amacıyla EDX analizi (Enerji Dağılımlı X-Ray analizi) yer almaktadır.

Deneysel çalışmalarda ilk olarak banyo halojenizasyon parametrelerinin analizi yapılmıştır. Bu amaçla bir deney havuzu oluşturulmuş, havuzda yer alan deney koşullarında ki denemeler yapılmış ve yüzey klorinasyon derecesi incelenmiştir. Denemelerde klor banyo parametreleri belirlenen oranlarda hazırlanarak istenilen süre boyunca banyoda bekletilmiş ve bu evreden sonra gerçekleştirilen nötralizasyon ve durulama işleminde koşullar sabit tutulmuştur.

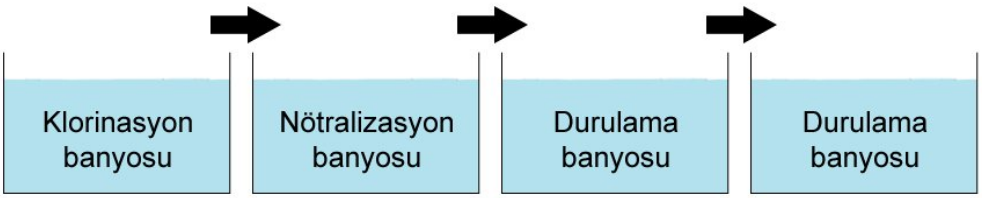
İkinci olarak yüzey kaplamaları incelenmiş ve farklı yağlayıcıların farklı oranlarda karıştırılması neticesinde elde edilen yüzey özellikleri incelenmiştir. Bu incelemelerde ise sürtünme özelliklerinin tespiti ve yüzey görünümü ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

3.1 Halojenizasyon Deneyleri

Halojenizasyon çalışmalarında doğal kauçuk silici silgilerin klorinasyon prosesi detaylı şekilde çalışılmıştır. Doğal kauçuk silici silgi için klorlama işlemi oldukça başarılı bir yüzey sertleştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Fakat klorinasyon işleminin optimizasyonu, klor miktarının değişimi ve işlem sonucunda ortaya çıkan tabaka kalınlığını belirlemek için bu çalışmaya gerek duyulmuştur.

Klorinasyon denemelerinin tümü tek bir karışımdan hazırlanan ve tamamı aynı geometriye sahip silici silgiler üzerine uygulanmıştır. Halojenizasyon işlemlerinde ve

denemelerde, dört banyoda sırası ile klorinasyon, nötralizasyon ve iki kez durulama yapılmıştır. Klorlama banyosunda işlem görme süresi deney matrisinde belirtilen süredir ayrıca bir dakika nötralizasyon ve ikişer dakika durulama işlemleride klorine edilen her silici silgiye uygulanmaktadır. Denemelerden sonra oda atmosferinde kurutulan silici silgiler uygun şekilde muhafaza edilerek SEM ve EDX incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Klorinasyon işlemi akış şeması.

Klorinasyon denemelerinde ilk etapta litertürde kullanımı bulunan klor banyoları örnek alınmış ve banyoların mevcut durumda ki silici silgi hamuruna uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni yüksek asitlikteki banyonun silecek silgisi dudak bölgesi yüzeyinde yüzeye dik eksende çatlaklar oluşturmasıdır. Klorlama bu banyoda başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir fakat yapısı yüksek oranda bozulan yüzey dolayısıyla silici örneği için uygun olmamaktadır.

Bu yüzden seri üretime yakın koşullarda banyo parametreleri belirlenerek farklı banyolarda alınan neticeler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan deney matrisi Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Halojenizasyon denemelerine ait banyo klor oranı ve işlem süreleri.

Banyo Klor Oranı	Süre (Dakika)				
	1	2	3	5	10
A Banyosu (%16 Cl)	X	X	X	X	X
B Banyosu (%19 Cl)	X	X	X	X	X
C Banyosu (%25 Cl)	X	X	X	X	X
D Banyosu (%34 Cl)	X	X	X	X	X
E Banyosu (%60 Cl)	X	X	X	X	X

Denemeler sonrasında ortaya çıkan silici silgiler uygun ölçütlerde kesilerek SEM mikroskobunda incelemeleri yapılmıştır. Mikroskop incelemelerinde yüzey ve profil kesitinden incelemeler gerçekleştirilerek banyo klor dozajı ve işlem süresi parametrelerinin kauçuk yüzeyinde oluşan klor tabaka kalınlığına ve yüzey klor içeriğine etkisi ölçülmüştür.

Kesit incelemelerinde uzun işlem sürelerinde ve klor dozajı yüksek olan banyolarda oluşan klorca zengin tabakalarda tepecikler oluşumu gözlenmiştir. Bu yüzden tabaka kalınlığı incelenirken birkaç yerden kalınlık ölçümü yapılmış ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Tabaka kalınlığının silici silgi yüzeyinde ±2μm değerlerinde değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir.

EDX analizlerinde ise tabakada ölçülen % Cl içeriğinin yüksek miktarda değişim göstermediği ve daha iyi bir hassasiyetle klor miktarının saptandığı görülmüştür. İncelemelerde JEOL markasına ait JSM-6510LV model numaralı SEM mikroskobu kullanılmıştır.

Klorca zengin tabakada ölçülen % Cl oranının değişiminde 15 kV enerjide ve yaklaşık 2,5 μm penetrasyon derinliğinde çalışılmıştır. Klorinasyon denemelerinin ardından yapılan EDX ölçümleri çizelgeye aktarılmıştır. Literatür incelemelerinde % Cl oranının yüzeyden içeri girildikçe azalacağı ve 10 μm düzeyinde bir nüfuziyet derinliği olacağı bilgisine rastlandı (Ho, 1998). Çalışmalarımızda limit değerin 10,8 μm düzeyinde olduğunu gözlemledik fakat, homojen klorinasyona uğramayan ve yüksek klor dozajına sahip banyolarda belirli kesitlerde bu değerin üzerindeki kalınlık değerleriyle karşılaştık. Kalınlık incelemelerinde bu kısım detaylı bir şekilde ele alınacaktır.

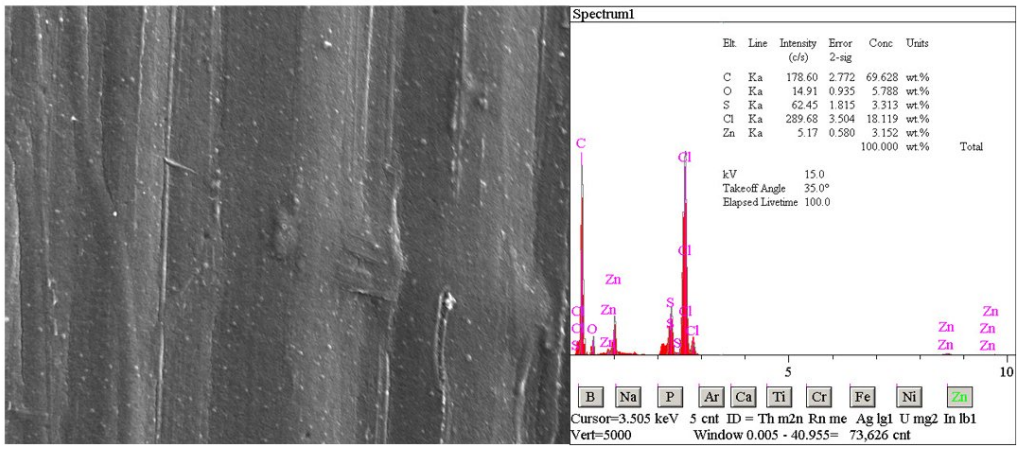
3.1.1 Klorca zengin tabakada biriken klor oranının incelenmesi

Bu bölümde banyoda bulunan klor dozajının silici silgi yüzeyinde oluşan klor tabaksında biriken klor miktarına etkisini inceleyeceğiz. Bu amaçla hazırladığımız deney şablonunda ki denemeleri, her bir banyoyu taze bir şekilde oluşturarak belirlenen sürede gerçekleştirdik. Bu denemeler sonucunda elde ettiğimiz silici silgilerin yüzey EDX analizlerinin alınması sonucu elde edilen % Cl oranı değerlerini bir tablo şeklinde düzenledik.

Çizelge 3.2 : Denemeler sonrasında ölçülen % Cl içeriği değerleri.

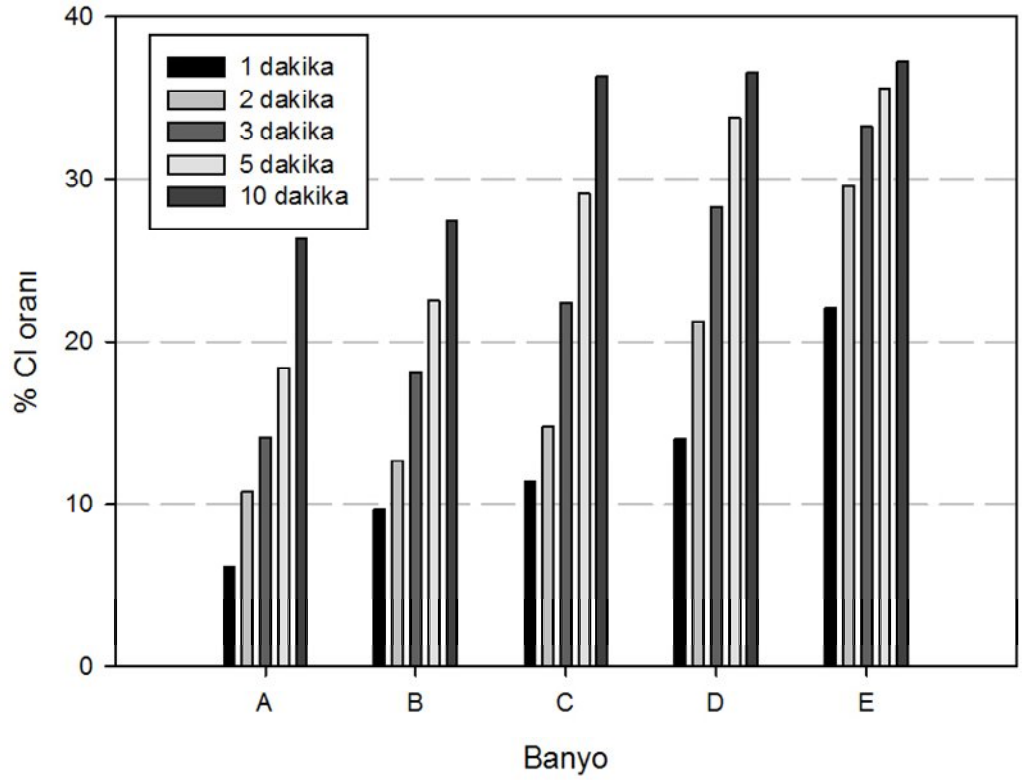
Banyo Klor Oranı	Süre (Dakika)				
	1	2	3	5	10
A Banyosu (%16 Cl)	6,103	10,784	14,127	18,420	26,275
B Banyosu (%19 Cl)	9,622	12,669	18,119	22,537	27,425
C Banyosu (%25 Cl)	11,360	14,758	22,389	29,052	36,347
D Banyosu (%34 Cl)	14,047	21,271	28,262	33,779	36,554
E Banyosu (%60 Cl)	22,083	29,525	33,221	35,583	37,250

Klorca zengin tabakada ölçülen klor oranı incelemelerinde klor dozajı ve işlem süresine bağlı olarak tabakada bulunabilecek klor oranının belirli bir limit değere yakınsadığını tespit edildi. Aynı zamanda yüksek klor dozajına sahip banyolarda klorlama hızının oldukça yüksek olduğu ve limit değere kısa sürede yaklaşıldığı gözlemlendi. Klorca zengin tabakada bulunabilecek maksimum klor oranı % 36-37 değerindedir. Ayrıca yüzey incelemelerinde banyo klor dozajının artması durumunda çatlaklar arası mesafenin arttığı gözlenmiştir.



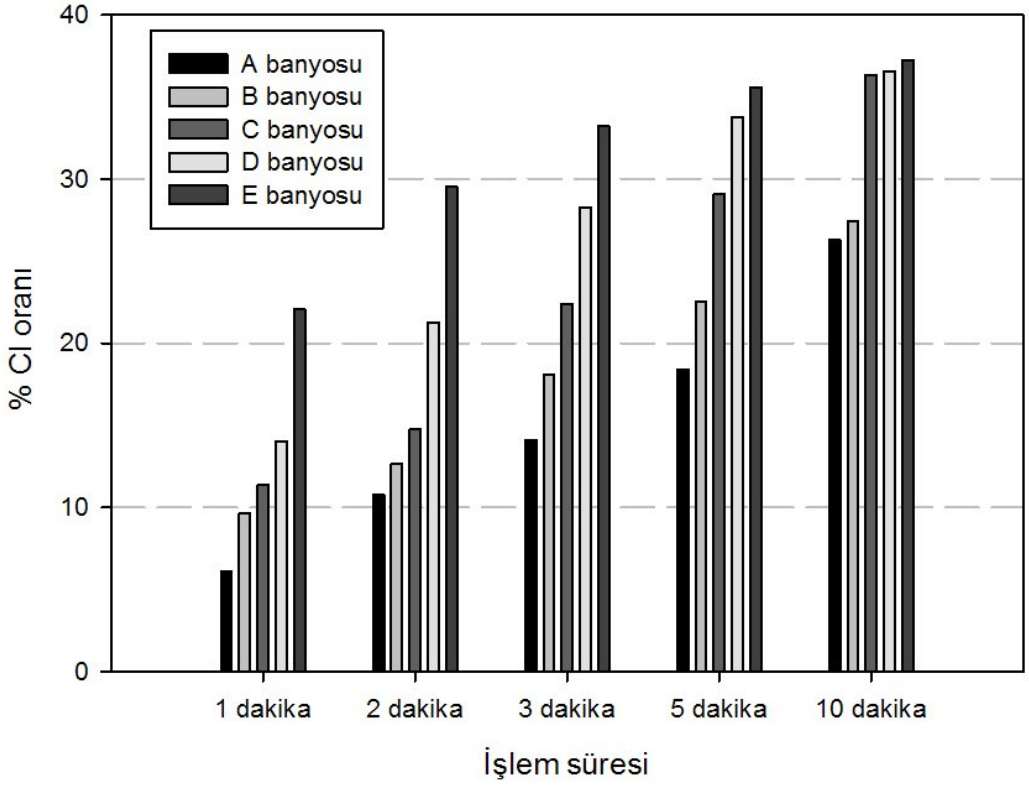
Şekil 3.2 : Seri üretim koşullarında (3 dakika, B banyosu) klorine edilen silgiye ait EDX analizi.

Silici silgilerin EDX analizinde dudak bölgesi etrafında ki düzlemsel bölgede oluşan klor tabakası incelenmiştir. Elementel analizdende görüleceği üzere kauçuk bileşiminde yer alan S, O, ve Zn elementlerine de belirli ölçüde rastlanmıştır. Hiç klorine edilmemiş doğal kauçuk silici silginin EDX analizinde ise yapıda % 0,252 gibi oldukça düşük bir oranda klor görülmüştür.



Şekil 3.3 : % Cl oranının banyo türlerine göre değişiminin incelenmesi.

Silici silgi yüzeyinde oluşan klorca zengin tabakada bulunan klor miktarının 3 ve 5 dakika süre içerisinde banyo klor dozajına eriştiği gözlenmiştir. Fakat daha yüksek dozajlı banyolarda (literatür örneğinde bulunan E banyosu) belirlenen limit değere yaklaşıldıktan sonra işlem süresinin % Cl oranına daha düşük oranda etkidiği gözlenmiştir.

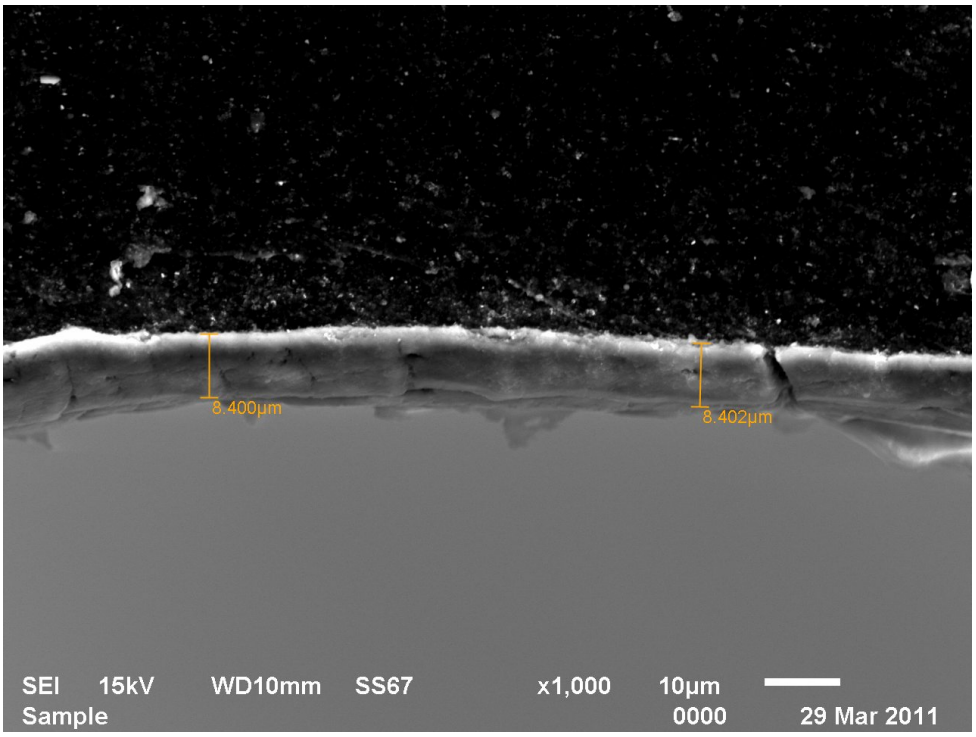


Şekil 3.4 : % Cl oranının farklı işlem sürelerine göre değişiminin incelenmesi.

3.1.2 Klorca zengin tabaka kalınlığının incelenmesi

Denemeler sonucunda, hazırlanan banyoda istenilen süre bekletilen silici kauçukların tamamında gözlenen klor tabakası değişimi çizelge olarak hazırlanmıştır. Bu çizelgenin yorumlanmasını kolaylaştırma amacıyla klorinasyon işlem süresi ve banyo tipine göre değişen klor tabakası kalınlıklarının grafikleri çizilmiştir.

Klor tabakası kalınlık incelemelerinde aldığımız SEM fotoğraflarında klor dozajı yüksek banyolarda silici silgi yüzeyinde oluşan çatlaklı yapı rahat şekilde gözlemlenmektedir.



Şekil 3.5 : E banyosunda 3 dakika süreyle klorine edilmiş doğal kauçuk yüzeyinde oluşan klor tabakası.

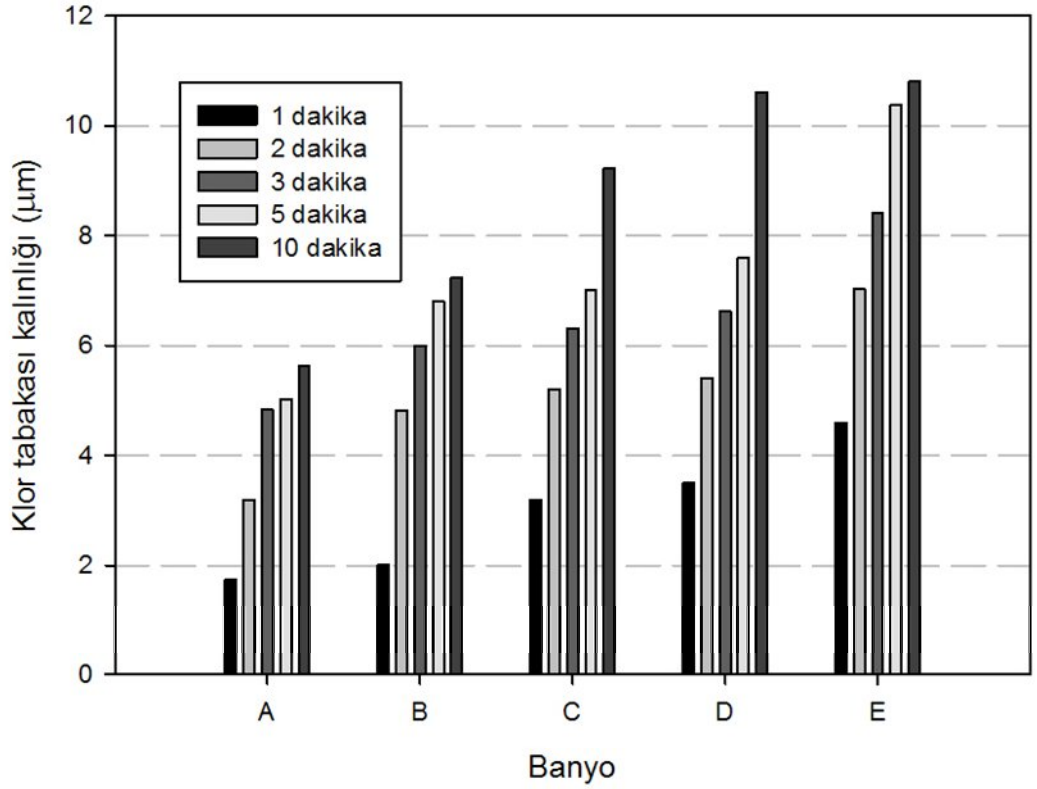
Klor tabaka kalınlığının farklı banyo tiplerine göre değişimini gösteren histogram grafiğinde yüksek banyo klor oranlarında ve yüksek işlem sürelerinde tabaka kalınlığındaki artışın daha hızlı gerçekleştiği gözlenmektedir. Buna karşın düşük banyo klor içeriklerinde düşük sürelerde tabaka kalınlığındaki artış daha belirgin olmaktadır.

Çizelge 3.3 : Denemeler sonrasında ölçülen klor tabaka kalınlığı değerleri (µm).

Banyo Klor Oranı	Süre (Dakika)				
	1	2	3	5	10
A Banyosu (%16 Cl)	1,737	3,200	4,830	5,025	5,641
B Banyosu (%19 Cl)	2,003	4,817	6,000	6,803	7,226
C Banyosu (%25 Cl)	3,200	5,204	6,315	7,000	9,222
D Banyosu (%34 Cl)	3,500	5,415	6,627	7,600	10,600
E Banyosu (%60 Cl)	4,600	7,030	8,400	10,370	10,800

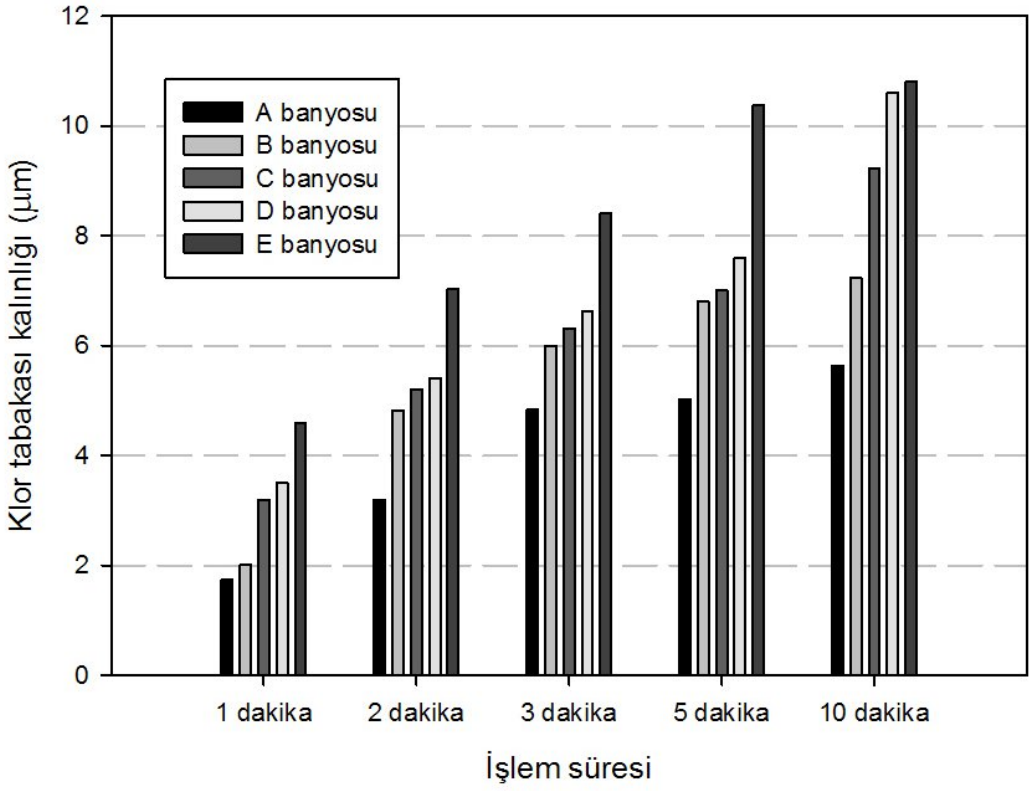
Silici silgi yüzeyinde oluşturulan klorca zengin tabaka kalınlığının 8µm değerinin üzerine çıkması durumunda oldukça sert bir yüzey ve yüksek miktarda çatlaklı yapı oluşur. Bu yapı C ve D banyolarında 10 dakika işlem süresinde ve E banyosunda 3, 5, 10 dakika işlem sürelerinde oluşmaktadır.

Tabaka kalınlığının analiz edildiği bu deneysel çalışma sonucunda optimum klor tabakası değerinin 6 ile 8µm arasında olabileceği saptanmıştır.



Şekil 3.6 : Klor tabaka kalınlıklarının farklı klor içerikli banyolardaki değişimi.

Klor tabaka kalınlıklarının işlem sürelerine göre incelenmesinde ise uzun işlem sürelerinde yine belirli bir limit tabaka kalınlığı değerine yakınsayan kalınlıklar gözlemlenmiştir. Tabaka kalınlığının analizinde gözlemlenen limit klor tabakası değeri 11µm değerindedir. Fakat silici silginin geometrik yapısı ve düzensizliklere bağlı olarak bu değerin üzerinde ki kalınlıklarda klor tabakası değerleri gözlemlenebilir.



Şekil 3.7 : Klor tabaka kalınlıklarının farklı işlem sürelerine göre değişimi.

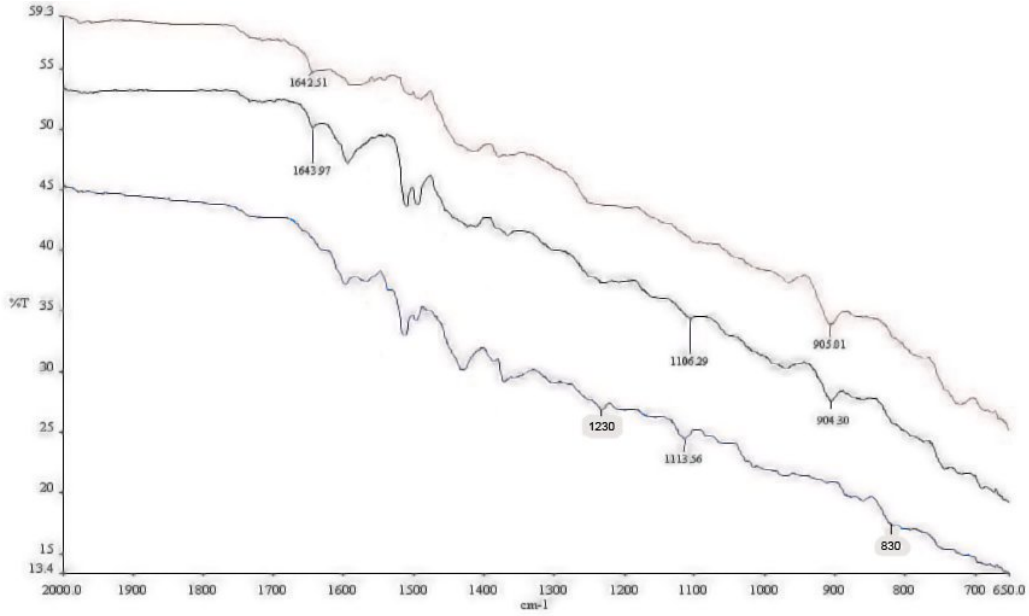
Klorine edilen parçalar görsel olarak incelendiğinde ise uzun işlem sürelerinde parça yüzeyinde daha açık renkli bir tabakanın oluştuğu gözlenmiştir.

Klorinasyon tabakasının formu ise silici geometrisine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. En homojen kaplamanın, silici kesitinin düz yüzeylerinde oluştuğu gözlenmiştir. Özellikle dudak bölgesi etrafındaki değişken geometriye sahip yüzeylerde kaplama tabakasının değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir. Bu yüzeyin iyi şekilde klorlanması silici silginin çalışma karakteristiklerini belirlemede oldukça etkilidir. Bu yüzden silici silgilerin klorlama banyosu içerisinde akış oluşturulması ve kauçuk yüzeyin hemen etrafında oluşabilecek banyonun geneline göre daha düşük klor dozajına sahip film tabakalarının oluşumu engellenmelidir.

3.1.3 Yüzeyde oluşan klor bağlarının incelenmesi

Yüzey klorinasyon işleminin karakterizasyonunu ve yüzeyde biriken klorca zengin tabaka içinde klor elementinin oluşturduğu bileşikleri ve bağlandığı yapıları incelemek için FT-IR spektrum analizine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmada öncelikle klorine edilmemiş bir silecek lastiği üzerinden FT-IR analizi alınmış ve daha sonra B banyosunda 3 dakika süreyle klorine edilen ve E banyosunda 3 dakika

süre ile klorine edilen silecek silgileri üzerinden spektrum analizi alınarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 3.8 : Klorine edilmiş ve klorine edilmeyen kontrol numunelerine ait FT-IR transmittans analizleri.

Çalışma sonrasında ortaya çıkan spektrum incelendiğinde klor elementinin doğal kauçuk yapı içerisinde öncelikli olarak C=C çift bağına bağlanmaya yöneldiğini ve bu yapıyı bozduğunu, 900 ve 910 cm^{-1} dalga boyunda artan banyo dozajına oranla artan pik şiddetinden gözlemliyoruz. Bu ise bize aynı zamanda klorinasyon işlemi ile doğal kauçuk yüzeyinde ortaya çıkan yüzey sertleştirmesini açıklamaktadır. Çünkü klor elementi bir ölçüde yapının esnekliğini sağlayan çift karbon bağlarına saldırarak düzensizlik oluşturmakta ve esnekliği azaltmaktadır.

Kontrol numunesinden farklı olarak klorine edilmiş numunelerde 1640 cm^{-1} dalga boylarında görülen pikler ise klorun, karbon çift bağının haricinde karbon hidrojen bileşimlerine de bağlandığını ve yapıya eklendiğini göstermektedir. Bu bağlanma ise genelde CH_2-Cl şeklinde gözlemlenmekte, fakat bu kez artan klor dozajına bağlı olarak pik şiddetinde büyük oranda bir değişim görülmemektedir. Kullanılan doğal kauçuk hamurunun bileşiminde bulunan çinko sterat ve sterik asite bağlı olarak 1500 cm^{-1} dalga boyunda oluşan karakteristik pikler de analizde görülmektedir.

3.2 Yüzey Kaplama Deneyleri

Klorlama işleminin ardından silici silgi yüzeyine uygulanan kaplamalarda katı yağlayıcı partiküllerin bir yapıştırıcı matris fazı içerisinde yüzeye bağlanması esas alınmıştır. Bu yapıştırıcı bileşen akrilik bazlı bir reçine olarak belirlenmiş ve sertleştiricisi ile hazırlanan karışım içerisinde katı yağlayıcıların homojen bir şekilde dispersiyonu sağlanarak yüzeye uygulanmıştır. Reçine seçiminde dikkat edilen konu yapıştırıcının silici yüzeyine olan uygunluğudur. Elastik özellikteki kauçuk silecek üzerine uygulanacak elastik olmayan daha sert bir yapıştırıcının uygulanması halinde kaplama ile kauçuk yüzey arası oluşan bağlar kırılarak yüzeyden ayrılabilir ve kaplamanın pul pul dökülmesine neden olabilir. Hazırlanan yapıştırıcı karışımında çeşitli oranlarda katı yağlayıcılar kullanılmış ve değişik tipteki katı yağlayıcılar yüzeye uygulanmıştır. Bu değişik yağlayıcılardan birisi bor nitrür olarak belirlenmiştir.

Kaplama parametrelerinin belirlenmesinde ve değişkenlerin analizinde dört bileşenli sistem baz alınmıştır. Sistem içerisinde yapıştırıcı faz, su, grafit dispersiyonu ve bornitrür dispersiyonu temel parametre olarak kullanılmıştır. Su olarak, denemelerin tümünde distile su kullanılmış ve katı yağlayıcı partiküllerin kaplama banyosu içerisinde homojen dispersiyonu sağlanıncaya kadar karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kaplamalarda kullanılan grafit ve bor nitrür yağlayıcılar; katı halden dispersiyonunun zor sağlanması ve partiküllerin aglomerasyon problemi dolayısıyla su ile disperse edilmiş ticari karışımlar şeklinde kaplamalara eklenmiştir. Kaplamalar yüzeye uygulanmadan önce 15 dakika süresince yaklaşık 250 rpm'lik karıştırma hızlarında karıştırılırlar. Karıştırma hızı düşük bir değer olarak düşünülebilir fakat yapılan denemelerde yüksek hızlı karştırmalarda karışım içerisine hava kabarcıklarının nüfuz girmesinden ötürü sprey tabanca uygulaması ile yüzeye püskürtme sırasında sıkıntılar yaşanmıştır. Bu yüzden karıştırma hızının yüksek değerlerde tutulmamasına dikkat edilmelidir.

Kaplama karışımları sprey tabanca ile yüzeye dikkatlice ve homojen kalınlığa sahip olacak şekilde dağıtılır. Sonraki işlemde kaplanmış silici silgiler 80°C sıcaklıkta bekletilen etüv fırınına yerleştirilerek 10 dakika süresince kaplamanın sertleştirilmesi sağlanarak kaplama işlemi gerçekleştirilir.

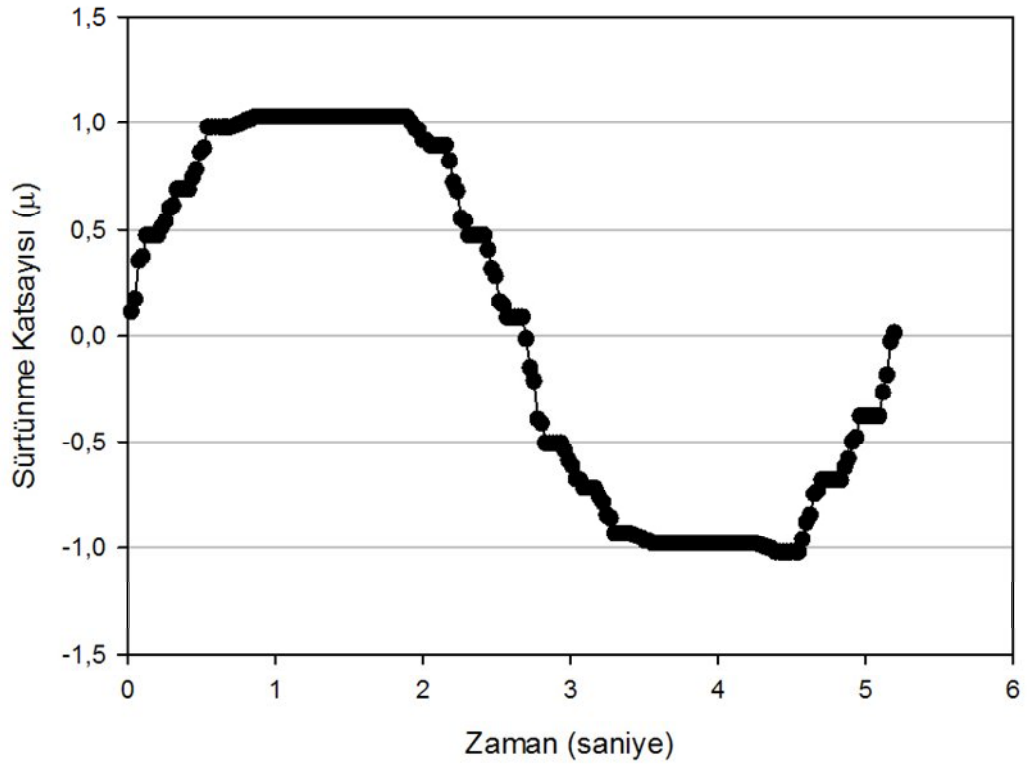
3.2.1 Yüzey kaplamalarının karakterizasyonu

Yüzeye uygulanan kaplamaların karakterizasyonunda ağırlıklı olarak sürtünme kuvveti analizi cihazından yararlanıldı. Yapılan çalışmalarda sürtünme kuvveti analizi cihazından elde edilen kuvvet değerlerini kullanarak Denklem 1.1 de verilen bağıntı aracılığı ile cam yüzey ile kaplanmış silici silgi çiftleri arasındaki sürtünme katsayılarını hesaplandı.

Sürtünme kuvveti analiz cihazının kol baskı yükü normal koşullarda 155 gram değerindedir. Sürtünme kuvveti analiz cihazından okunan F kuvvet değerlerinin yaklaşık olarak 1,5 Newton değerindeki W uygulama yüküne bölünmesi ile μ sürtünme katsayısı değerleri elde edilir.

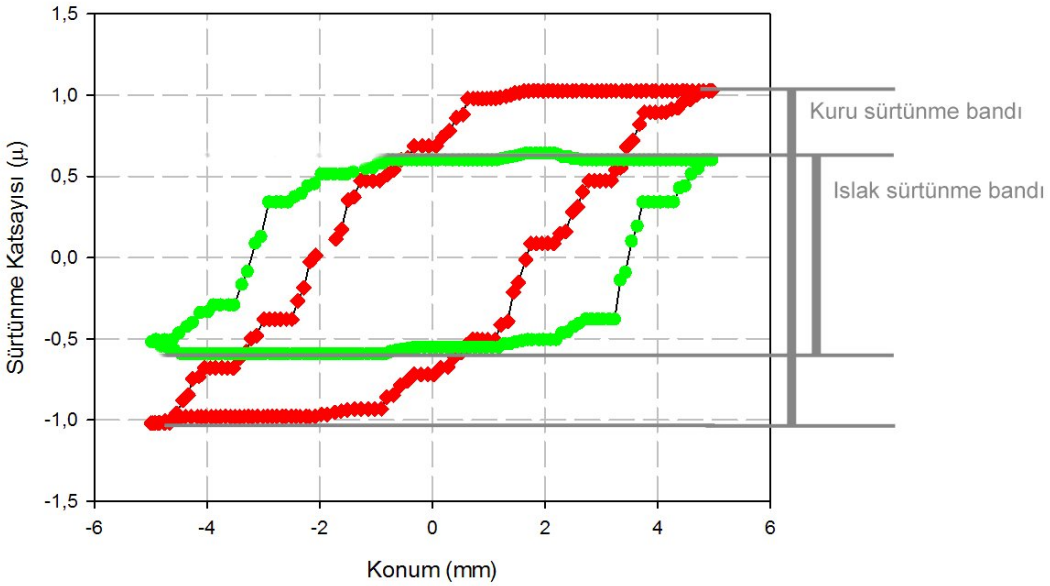
Sürtünme testine başlanmadan önce silici silgilerin üzerinde kayma işlemini gerçekleştirdiği tabla etil alkol ile temizlenir. Bu işlemin ardından ağızlığa uygun şekilde 40mm boyutunda kesilen silici silgi örneği dikkatlice düzeneğe bağlanır. Sürtünme testi düzeneği ile bilgisayar arasındaki veri aktarım kabloları ve bağlantılar kontrol edilir. Bilgisayar aracılığı ile sürtünme cihazının hız ve yol bilgileri PLC kontrol ünitesine iletilir ve başlamadan önce sürtünme tablası homojen bir şekilde ıslatılır. Islatma işlemi yaklaşık 0,5 ml hacmindeki suyun 10 cm mesafeden bir sprey aracılığı ile yüzeye püskürtülmesi şeklinde olur. Oda koşullarındaki atmosferde gerçekleştirilen bu denemelerde sürtünme kuvvetinin 10 dakika süresince ölçümünde ıslak faz, kuru faz ve ıslak/kuru arafaz çalışma koşullarına ilişkin sürtünme verileri toplanabilmektedir.

Sürtünme testi sırasında 40 mm/s kayma hızında ve 10mm kayma yolunda bir çevrim süresince sürtünme katsayısında meydana gelen değişim Şekil 3.9'da görülmektedir. Pozitif yönde oluşan sürtünme katsayısı süresince sistem ileri yönde hareket ederek piezo elektrik sensör üzerinde basma gerilmesi oluşturur ve pozitif bir sürtünme değeri gözlenir. Zamana göre sürtünme katsayısında ortaya çıkan değişimi gösteren eğri sinüsoidal eğri karakteristiğindedir. Bu eğrinin tepe noktaları ulaşılan maksimum sürtünmeleri verir. Sistemin içinde bulunduğu çalışma ortamına göre tepe değerler değişkenlik gösterirler. Örneğin ıslak ortamda daha düşük tepe değerlere ulaşılırken sistem kuru ortamda çalışmaya başladığında değerler yükselir.



Şekil 3.9 : Bir çevrim süresince sürtünme katsayısının zamana göre değişimi.

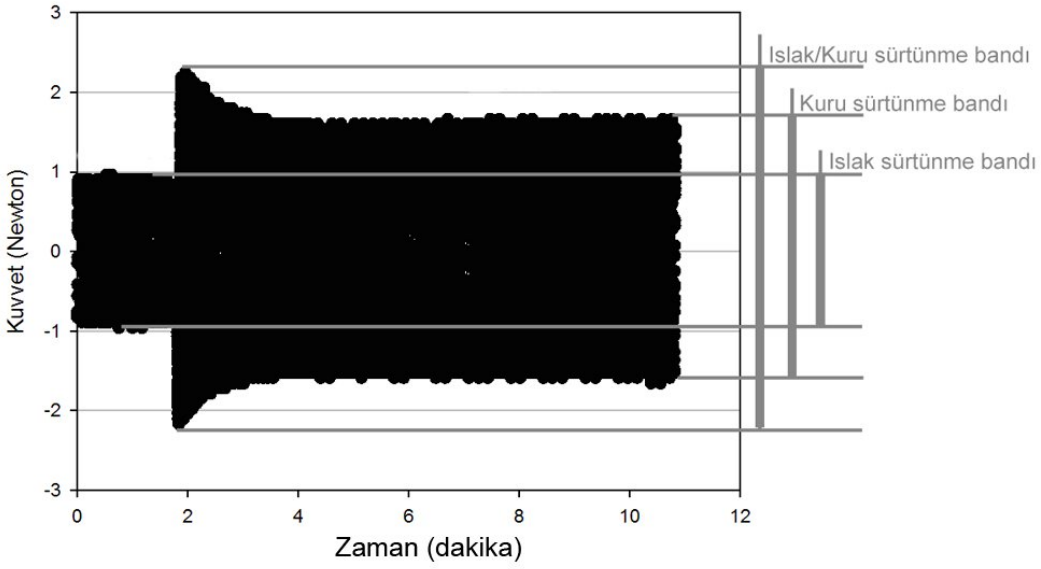
Sürtünme katsayısının silici silginin tabla üzerindeki pozisyonuna bağlı olarak değişimi de sistemde izlenebilir veriler arasında yer alır. Aşağıda görülen grafikte kuru çalışma ortamında bir çevrim sürede ölçülen sürtünme katsayısının silicinin tekrar başlangıç noktasına ulaştığında ki değişimi izlenebilmektedir. Bu eğriler ise manyetik alan deneylerinde ortaya çıkan ve malzemeler üzerindeki manyetik alan değişimlerinin ölçüldüğü histerisis eğrilerine benzemektedir. Özellikle silici sistem tek fazda çalıştırıldığında (ıslak veya kuru) tüm çevrim süresince bu eğriler incelendiğinde maksimum sürtünmeler daha rahat gözlenebilmektedir.



Şekil 3.10 : Bir çevrim süresince sürtünme katsayısının konuma göre değişimi.

Elde edilen sürtünme verileri gerçek değerlerle tutarlılık göstermektedir. Bu çalışma koşullarında cam ve kauçuk parçalar arasında gerçekleşen sürtünme katsayıları 0,5 ile 4 değerleri arasında değişmektedir. Bir sonraki şekilde yine aynı deney numunesi için ölçülen sürtünme kuvveti değerlerinin farklı fazlarda nasıl değişkenlik gösterdiğini görebiliriz. Bu grafikte açık şekilde sürtünme katsayıları arasında $\mu_{IK} > \mu_K > \mu_I$ şeklinde sırası ile ıslak/kuru, kuru ve ıslak şeklinde azalan sürtünme değerleri görülmektedir.

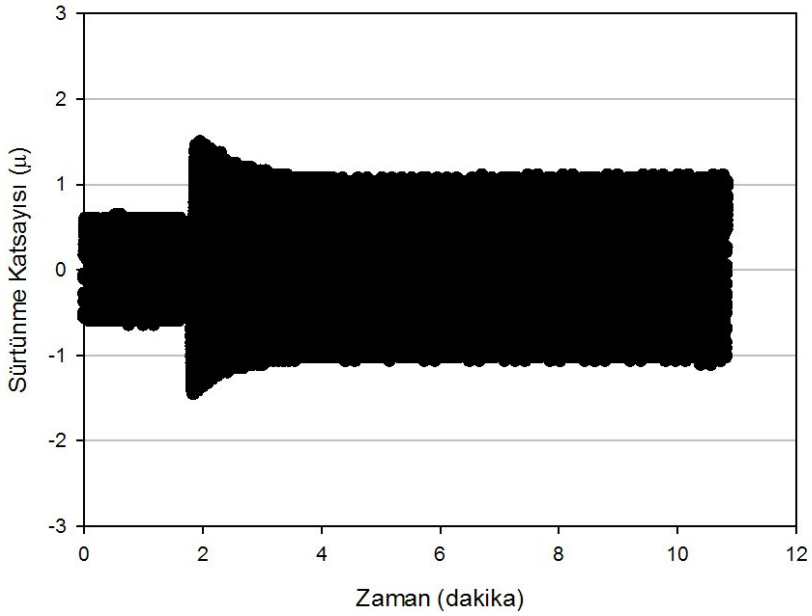
Sürtünme katsayısı analizi cihazından alınan veriler sürtünme kuvvetinin Newton cinsinden ölçülen değerlerini kapsamaktadır. Bu değerlerin kol baskı yükü değerine bölünmesi ile sürtünme katsayısına geçiş yapılmaktadır.



Şekil 3.11 : Tüm çevrim süresince sürtünme kuvvetinin zamana göre değişimi.

Sürtünme kuvveti değerlerinin bahsedilen kol baskı yükü değerine bölünerek elde edilen sürtünme katsayısı değerleri bir sonraki grafikte görülmektedir.

Bu çalışmaya ilişkin sürtünme katsayısı değerleri cam ve kauçuk silici arasında ıslak ortamda 0,55 değerinde iken kuruma sırasında ıslak/kuru faz geçiş bölgesinde 1,5 değerine yükselmiş ve ardından kuru ortamda 1,15 değerine gerileyerek çalışmaya devam etmiştir.



Şekil 3.12 : Tüm çevrim süresince sürtünme katsayısının zaman göre değişimi.

3.2.2 Kaplama parametrelerinin belirlenmesi ve parametrelere göre sürtünme katsayısının değişimi

Silecek silgisi yüzeyine uygulanan kaplamalar üç temel başlık altında incelenmiştir. İlk olarak kullanılması gereken optimum yapıştırıcı faz miktarının tespiti için yapıştırıcı fazın değişen oranlarda kaplamaya ilave edilmesine bağlı olarak silme kalitesi incelenmiştir. İkinci olarak değişen grafit oranının sürtünme katsayısına ve silme performansına etkisi incelenmiştir. Son bölümde ise kaplama banyosuna eklenen bor nitrür yağlayıcının etkisi araştırılmıştır.

Kaplamalarda kullanılan yapıştırıcı bileşene ilişkin bileşim oranları ve yapıştırıcı fazın hazırlanışı sabit tutulmuştur. Çalışmada Sythron isimli firmanın ticari ürünlerinden Prox AMN 317R isimli ürünü akrilik reçine bileşeni olarak, Prox P M3M isimli trimetilol metil formaldehit içerikli ürünü reçine sertleştiricisi ve çarpraz bağlanmayı arttırıcı olarak, Dryol PEL-PAL isimli ürünü kaplamaya ilişkin su dayanımını arttırıcı olarak, Cat-Ay isimli ve amine hydrochorate içerikli ürünü katalizör olarak, Pel Fox isimli ürünü ise anti ozonant özellikleri iyileştirmek için kullanılan malzemeler arasındadır.

Çizelge 3.4 : Yapıştırıcı faz bileşeninde kullanılan kimyasalların oranı.

Yapıştırıcı Faz	% Ağırlıkça Oran
Akrilik Reçine	44.0
Trimethylol MF	4.0
Su İtici Bileşen	8.0
Amonyak (%20)	0.4
Amine Hydrochorate Katalizör	1.1
Anti Ozonant	38.0
TOPLAM	100

Yapıştırıcı karışım hazırlanmadan önce yağlayıcıların dispersiyonunun sağlanması ve karıştırılmaya başlanması, yağlayıcı partiküllerinin homojen bir şekilde yüzeye uygulanmasını sağlama amacıyla tavsiye edilir.

3.2.2.1 Yapıştırıcı faz bileşeninin optimizasyonunun sağlanması

Kaplamada kullanılan katı yağlayıcı partikülleri ve diğer bileşenleri bir arada tutarak yüzeye bağlayan ve kaplama ömrünü uzatan yapıştırıcı faz sistemde oldukça önemli bir bileşendir. Az kullanılması durumunda kaplama yeterli düzeyde yüzeye

bağlanamaz ve kısa sürede yüzeyden atımı gerçekleşebilir. Yapıştırıcı fazın gereğinden fazla oranda kullanılması durumunda ise sürtünme katsayısı beklenenden yüksek çıkabilir.

Çizelge 3.5 : Yapıştırıcı faz bileşeni oranının kaplamalara göre değişimi.

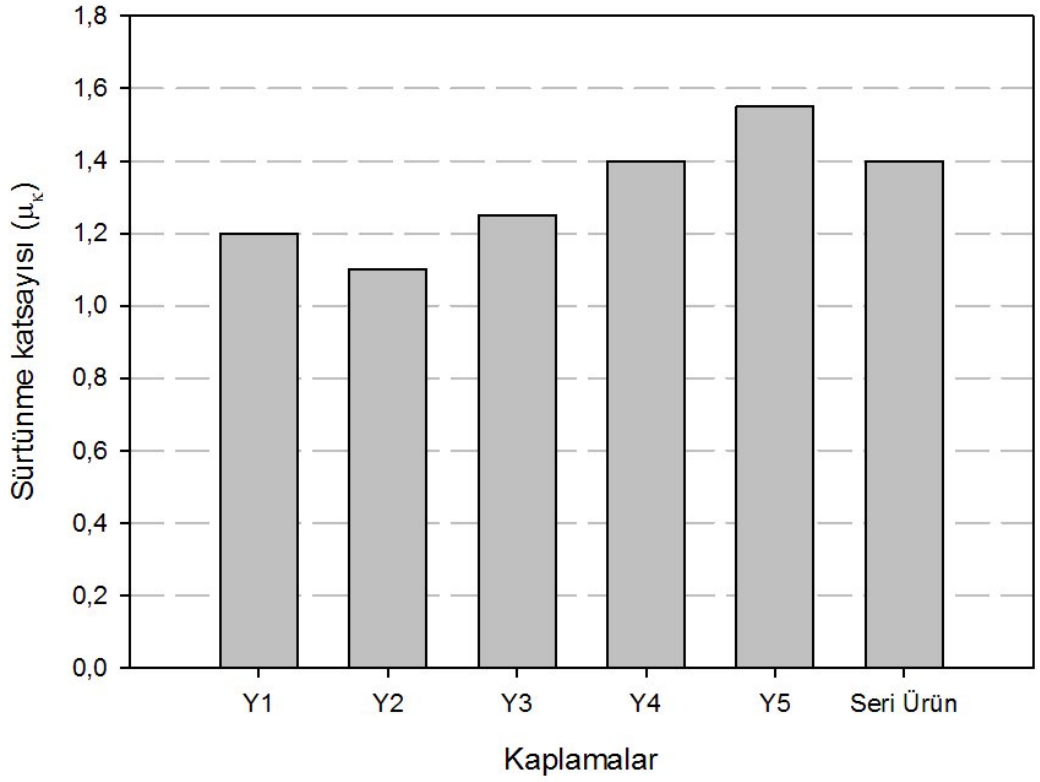
Kaplama No	Grafit Dis.	Distile Su	Yapıştırıcı Faz	TOPLAM
Y1	40	50	10	100
Y2	40	40	20	100
Y3	40	30	30	100
Y4	40	20	40	100
Y5	40	10	50	100

Hazırlanan beş ayrı kaplama yüzeye dikkatlice uygulanmıştır. Yüzey uygulamasında homojen bir film tabakası oluşturacak şekilde sprey tabanca ile uygulama yapılmıştır. Kaplama banyoları hazırlanırken çizelgede gösterilen ağırlıkça % değerleri üzerinden bileşenler kaplamaya eklenmiştir. Uygulama sonrasında silecek silgileri 80°C sıcaklıktaki fırında, kaplama banyosunda yer alan yapıştırıcı fazın sertleşmesi ve bağ yapabilmesi için 10 dakika süresince bekletilmiştir.

Ortaya çıkan nihai ürünler görsel açıdan incelendiğinde iyi kaplamalar elde edildiği gözlenmiş ve silici silgilerin yüzeylerinde kaplamaların çatlaması veya dökülmesi gibi problemlerle karşılaşılmamıştır.

Kaplamaların karakterizasyonunda ise silici silgi sürtünme katsayısı analizi cihazından yararlanılmıştır. Yapılan denemelerde sürtünme hızı ve sürtünme yolu değerleri sabit alınmıştır.

En az yapıştırıcı faz içeren Y1 numaralı kaplamada yapıştırıcı oranının kaplama tabakasını yüzeyde tutmada yetersiz kaldığı ve yeterli oranda bağ oluşturamadığı tespit edilmiştir. Y1 kaplamasının uygulandığı silici silgi incelendiğinde yüzeye uygulanan kendinden yağlayıcı kaplamanın kolayca yüzeyden ayrıldığı ve sürtünme testi sırasında cam yüzeyine sıvandığı gözlenmiştir. Yapıştırıcı faz oranının daha yüksek olduğu diğer kaplamalarda böylesi bir problemle karşılaşılmamıştır. Bu deney bize aynı zamanda %10 değerinden düşük oranda yapıştırıcı kullanmanın istenen özellikleri sağlamayacağını ve uzun ömürlü bir kaplama elde edilemeyeceğini göstermiştir.



Şekil 3.13 : Yapıştırıcı faz içerikleri farklı kaplamaların kuru sürtünme katsayıları.

Kaplamalara ilişkin sürtünme katsayılarının ölçümü sonucunda en düşük sürtünme katsayısı sağlayan kaplamanın Y2 numaralı kaplamada elde edildiği gözlenmiştir. Bu gelişmeden yararlanılarak bundan sonra uygulanacak kaplamalarda yapıştırıcı bileşen oranı %20 değerinde sabit alıncacaktır.

3.2.2.2 Grafit oranının değiştirilmesi ile hazırlanan kaplamalar

Yüzey kaplamasında yağlayıcı etki gösteren ve sürtünme katsayısının düşürülmesini sağlayan grafit katı yağlayıcısının çeşitli oranlarda kaplama banyosuna eklenmesi ile beş farklı kaplama banyosu hazırlanmıştır. Kaplama sistemi su bazlı olduğundan distile su ile geriye kalan yüzdeler tamamlanmıştır. Tabloda verilen değerlerin tümü ağırlıkça yüzde oranlarıdır.

Bu kaplamalarda yapıştırıcı faz bileşeni bir önceki yapıştırıcı faz oranının incelendiği çalışma baz alınarak, %20 oranında sabit tutularak grafit oranının değişimi incelenmiştir.

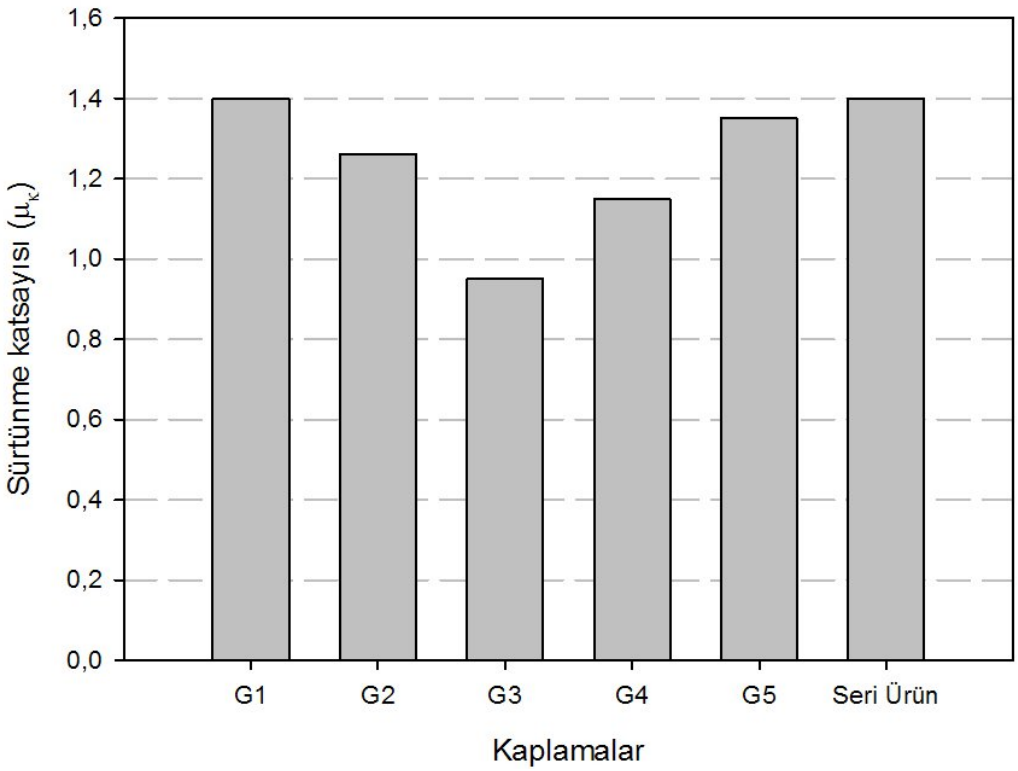
Çizelge 3.6 : Grafit oranının kaplamalara göre değişimi.

Kaplama	Grafit Dis.	Distile Su	Yapıştırıcı Faz	TOPLAM
G1	30	50	20	100
G2	40	40	20	100
G3	50	30	20	100
G4	60	20	20	100
G5	70	10	20	100

Kaplamalar belirlenen prosedüre uygun şekilde gerçekleştirilmiş ve istenen sıcaklıkta istenilen sürede tutularak kürleme gerçekleştirilmiştir. Kaplamalar sonrasında incelenen silici silgilerde grafit oranının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısının azalacağı düşünülürken gerçekte ölçülen değerler böyle olmadığını göstermiştir.

Kaplama işlemi gerçekleştirilmiş silici silgiler sürtünme katsayısı test düzeneğinde incelendiklerinde en iyi cam ile kauçuk silecek arasında en iyi sürtünme katsayısını veren kaplamanın G3 numaralı %50 grafit dispersiyonu içeren kaplama olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma görüldüğü gibi grafit oranının arttırılması sürtünme katsayısına bir noktaya kadar katkı sağlamış, bu evreden sonra olumsuz bir etki göstermiştir. Bu bize kaplama banyosunda yer alan suyun da sistemde önemli bir yeri olduğunu göstermektedir. Sistemde yer alan su öncelikli olarak hem yağlayıcı partiküllerin, hem de yapıştırıcı bileşenlerin silici silgi yüzeyine taşınmasında görev almaktadır. Kürleme işlemi sırasında yüzeyden buharlaşması neticesinde geride bıraktığı böşlüklar kaplama yüzeyinde gözenekli bir yapı oluşumuna sebep olmaktadır. Bu yapının çalışma parametrelerine ve sürtünme dinamiklerine etkidiği düşünülmektedir.



Şekil 3.14 : Grafit oranları farklı kaplamalarda elde edilen sürtünme katsayıları.

Aynı zamanda elde edilen kaplamanın mevcut üretim prosesinde kullanılmakta olan seri ürüne kıyasla sürtünme katsayısında oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Bir diğer önemli nokta ise kaplamanın kullanım ömrü hususundadır. Kullanım ömrünü belirleme konusunda kullanılan elastik altlık malzemesi ve kaplama tipleri dolayısıyla, kaplama yapışmasının test etmede kullanılan yapışma testlerini kullanmada sıkıntılar oluşmuştur. Fakat elde edilen yeni nesil kaplamanın yüzeyle iyi şekilde bağ yapması ve altlık malzemesinin karakteristiğine uygun elastik kabiliyette bir yapıştırıcı olması dolayısıyla yüzeyde uzun süre işlevini yerine getirmektedir.

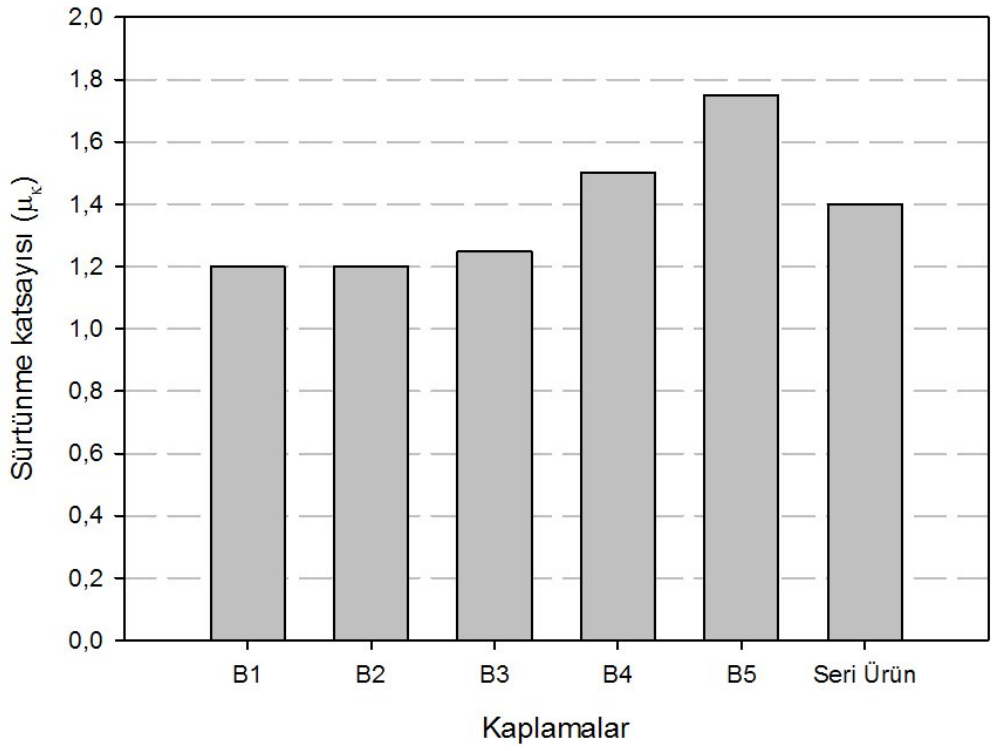
3.2.2.3 Bor nitrür ve grafit oranının değiştirilmesi ile hazırlanan kaplamalar

Elde edilen G3 kaplaması bileşiminde yani %50 katı yağlayıcı oranı ile hazırlanan kaplamalarda grafit yağlayıcıya ilave olarak bor nitrür yağlayıcının kullanımı ile aşağıda çizelgede verilen farklı kaplamalar hazırlanmıştır. Bu kaplamalarda bor nitrür yağlayıcının değişen oranlarda grafite ilavesi ve yalnızca bor nitrür katı yağlayıcısı kullanarak hazırlanan çeşitli kaplamalar olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7 : Bor nitrür ve grafit oranının kaplamalara göre değişimi.

Kaplama	Bor Nitrür Dis.	Grafit Dis.	Distile Su	Yapıştırıcı Faz
B1	10	40	30	20
B2	20	30	30	20
B3	30	20	30	20
B4	40	10	30	20
B5	50	-	30	20

Kaplamalar hazırlanırken diğer kaplamaların hazırlanmasında izlenen yöntem kullanılmıştır. Tüm kaplamalar uygulamadan hemen önce hazırlanmış ve dispersiyonun iyi sağlanması için 30 dakika süre ile karıştırılmışlartır. Önceki yaptığımız kaplamalarda kısa süreli karıştırma hızlarında bor nitrür dispersiyonunun yeterli oranda sağlanamadığını ve silici silgi yüzeyinde aglomere şekilde bor nitrür partiküllerinin kümelendiğini gözlemledik. Kaplamaların pişirilme süresi ve sıcaklığı bir önceki kaplamalar ile aynı değerde tutulmuştur.



Şekil 3.15 : Bor nitrür oranları farklı kaplamalarda elde edilen sürtünme katsayıları.

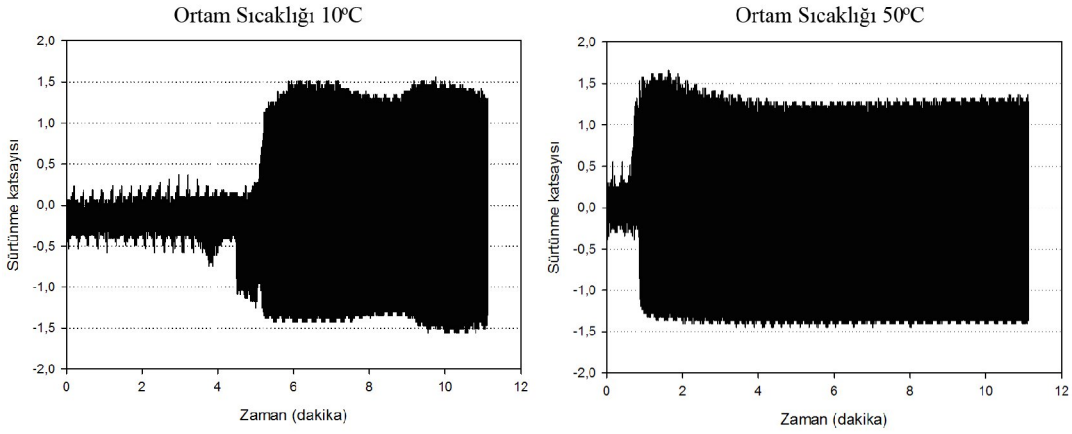
Hazırlanan B5 kaplaması yüzeye uygulandıktan sonra beyaza yakın açık gri bir görünüm elde edildiğinden silici silgi uygulamasında sileceğin çalışması sırasında dikkat dağıtıcı bir unsur olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca Bor nitrür oranının B1 kaplamasından başlayarak B5 kaplamasına kadar artan oranı dolayısıyla kaplama

yüzeyinde de koyu griden başlayarak açık griye varan bir renk değişimi gözlenmiştir.

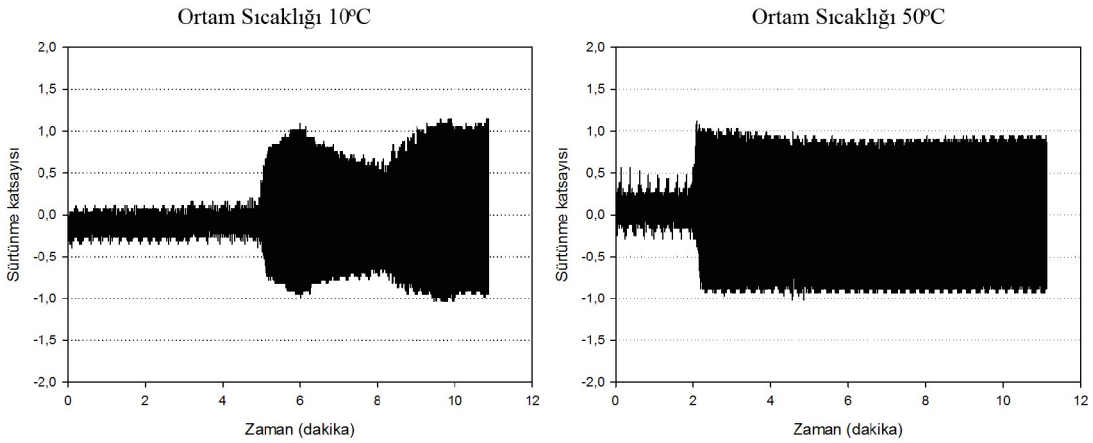
Bor nitrür yağlayıcının grafite ekenmesi veya yalnızca kendisinin yağlayıcı olarak kullanılması hem maliyet açısından hemde performans açısından olumlu sonuçlar vermemektedir. Yüksek maliyetli bir nanomalzeme olması dolayısıyla uygulama yapılan ürünün fiyatını oldukça yukarı çekmektedir. Ayrıca sürtünme karakteristikleri incelendiğinde bor nitrür kullanımının aynı oranda grafit yağlayıcı kullanımına göre daha yüksek düzeyde sürtünme gösterdiği gözlenmektedir.

3.3 Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen sürtünme testleri

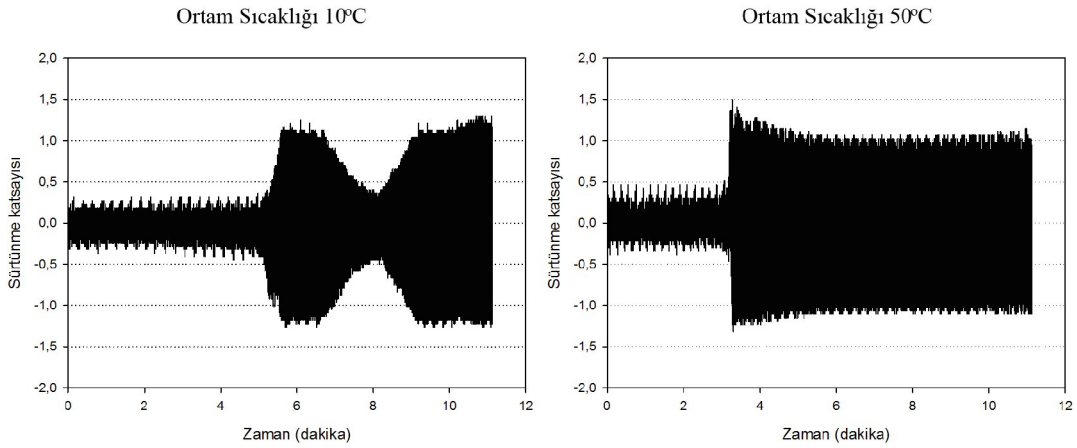
Geliştirilen kaplamaların farkli iklim davranışlarını simüle etmek ve farklı sıcaklıklardaki davranışlarını belirlemek için değişik sıcaklıklarda sürtünme testleri gerçekleştirilmiştir.



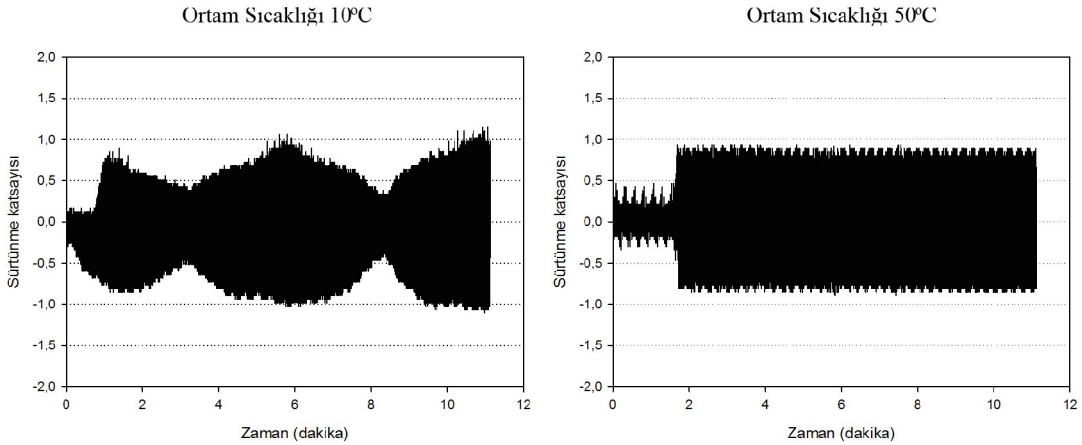
Şekil 3.16 : Grafitle kaplanmış eski karışım sileceklerin sürtünme katsayıları.



Şekil 3.17 : G3 ile kaplanmış eski karışım sileceklerin sürtünme katsayıları.



Şekil 3.18 : Grafitle kaplanmış yeni karışım silceklerin sürtünme katsayıları.



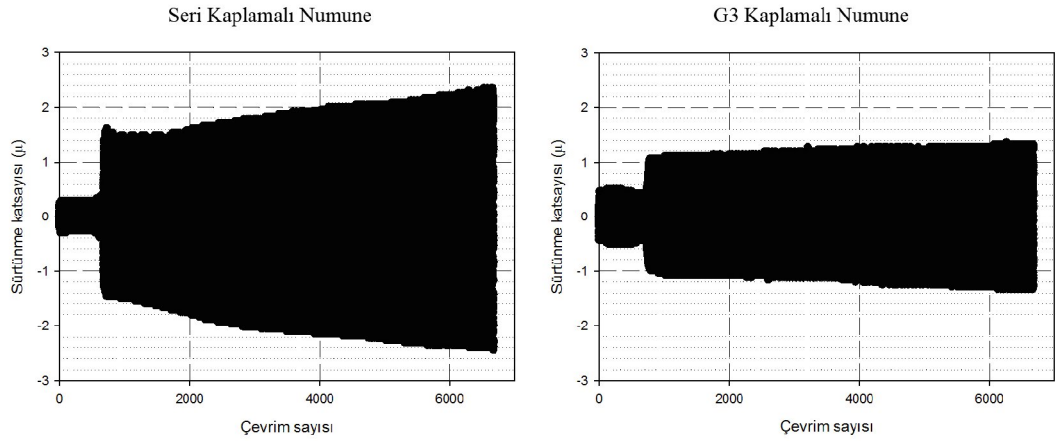
Şekil 3.19 : G3 ile kaplanmış yeni karışım sileceklerin sürtünme katsayıları.

Gerçekleştirilen testler neticesinde silici silginin sıcak koşullarda ve soğuk koşullarda benzer sürtünme davranışları sergilediği doğrulanmıştır. Düşük sıcaklık testlerinde ortam neminin sürtünme tablası üzerinde yoğunlaşması sonucunda kuru sürtünme

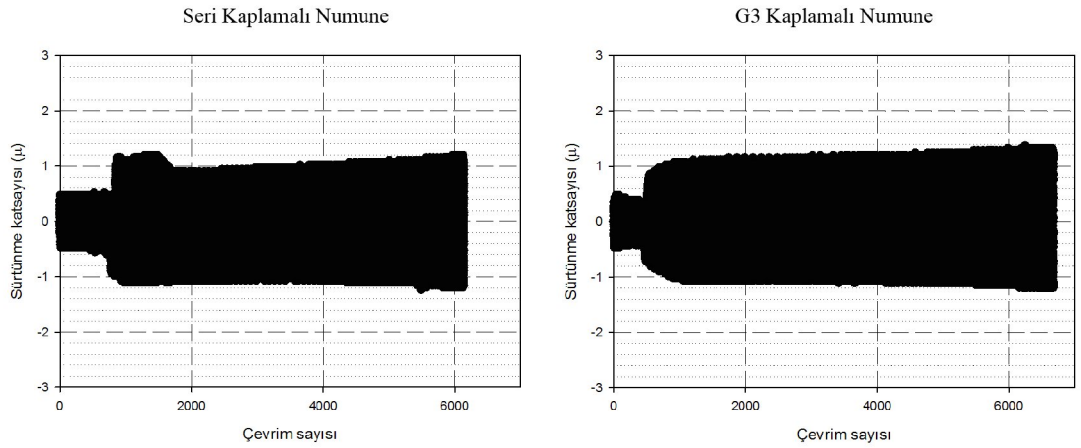
fazı sürekli bir şekilde izlenememiştir. Farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen sürtünme testlerinden alınan sonuçlar karşılaştırıldığında değerlerin birbiri ile örtüştüğü gözlenmiştir.

3.4 Sürtünme özelliklerinin zamana göre değişimi ve ömür testleri

Geliştirilen yüzey kaplamalarının ve seri ürünün kullanım koşullarına uygun şekilde ömür testlerinin gerçekleştirilmesinde sürtünme katsayısı analizi cihazından yararlanılmıştır. Ömür testi yapılırken gerçekleştirilen denemelerde silecekler ıslak ve kuru faz ortamlarında yaklaşık 6674 çevrim gerçekleştirecek şekilde test edilmişlerdir. Test süresi yaklaşık olarak 90 dakika sürmektedir ve bu süreç boyunca sistem önce ıslatılmış ve ardından kuru ortamda çalıştırılarak aşınma karakteristikleri saptanmaya çalışılmıştır. Denemeler süresince çevrim hızı değeri 100mm/s ve çevrim yolu 80mm olarak sabit tutulmuştur. Denemeye başlanmadan önce tabla üzeri homojen şekilde ıslatılarak nemlendirilmiş ve silici silgi ıslak ortamda çalışırken ölçüm alınmaya başlanmıştır, ardından kuruyan sisteme müdahele edilmemiş ve kuru sürtünme koşullarında ölçümler alınmıştır.

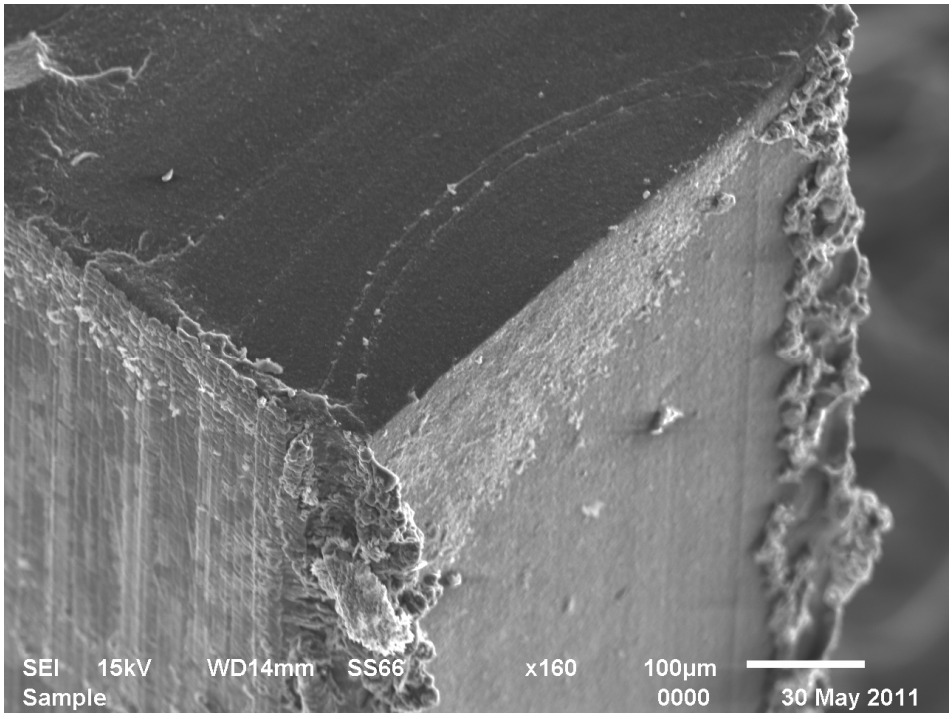


Şekil 3.20 : Eski karışım sileceklerinin farklı kaplamalardaki sürtünme katsayıları.

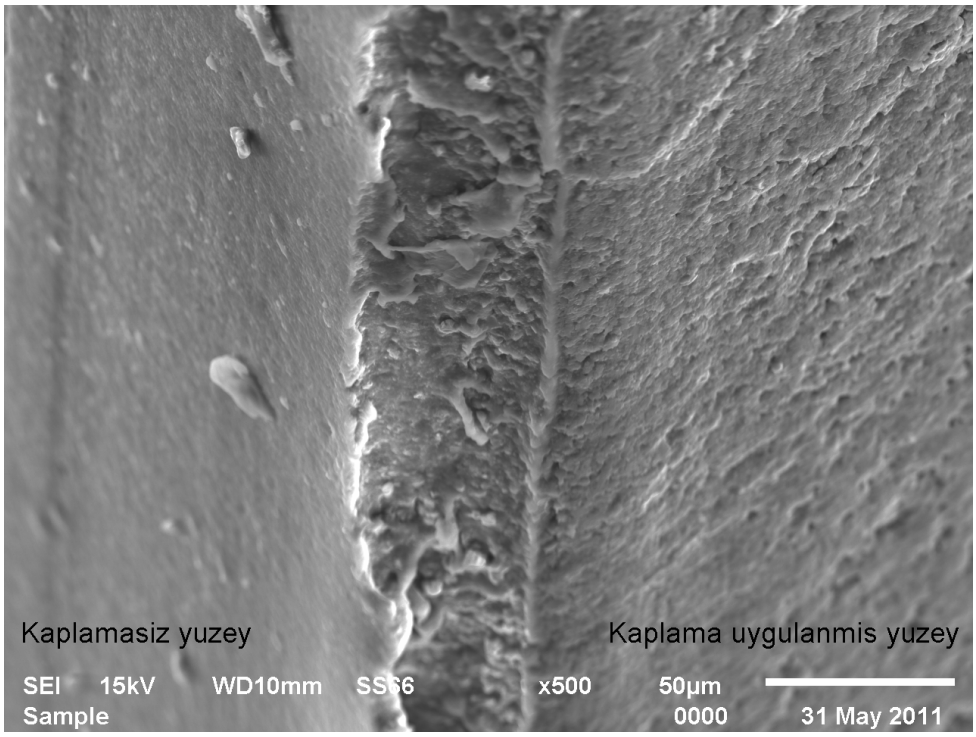


Şekil 3.21 : Yeni karışım sileceklerinin farklı kaplamalardaki sürtünme katsayıları.

Aşınma arayüzeylerinin incelendiği SEM fotoğraflarında seri kaplamaya ilişkin aşınma bölgesinin daha fazla aşındığı ve düzensiz bir aşınma gerçekleştirdiği gözlenmektedir. Buna karşın G3 kaplaması uygulanan yeni karışım silecek lastiğinde daha düzenli bir aşınma görülmektedir. Ayrıca G3 kaplamasının arayüzey görünümünde kaplama ile silecek silgisi arayüzeyinde kimyasal bağlanmasına ilişkin bir hat görülmektedir.



Şekil 3.22 : Grafit ile kaplanmış yeni karışım silecek lastiğinin aşınma ara yüzeyi.



Şekil 3.23 : G3 kaplanmış yeni karışım silecek lastiğinin aşınma arayüzeyi.

3.5 Aşınma karakteristiklerinin incelenmesi

Test sonrasında silici silgiler üzerinde gerçekleşen aşınma katsayısı aşağıda yer alan Archard aşınma denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemde *K* değeri Archard aşınma katsayısını, *V* aşınan hacim miktarının mm^3 değerini, H_m yumuşak olan malzemenin knoop sertliğini, *P* aşınma gerçekleşen bölgedeki yükün kg değerini ve *S* ise aşınma yolunun mm cinsinden değerini göstermektedir.

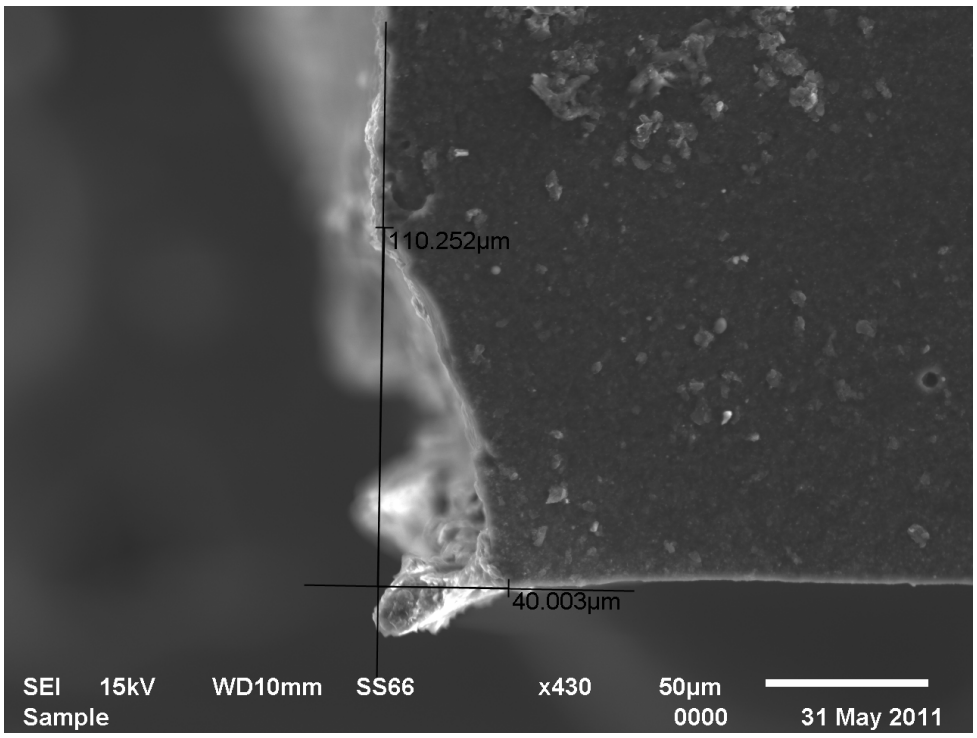
$$K = \left(V.H_m\right)/P.S \qquad \textbf{(1.1)}$$

Testi tamamlayan numuneler dikkatlice muhafaza edilmiş ve SEM incelemesi için hazırlanırken test sonrasındaki aşınmış yüzeyler korunmuştur. Test sonrasında geometrik ölçümler yapılmadan önce numunelerin yüzeyleri etil alkol ile dikkatlice temizlenerek kaplama tabakası veya yüzeyde kalan aşınmış partiküllerin ölçümü etkilememesine özen gösterilmiştir.

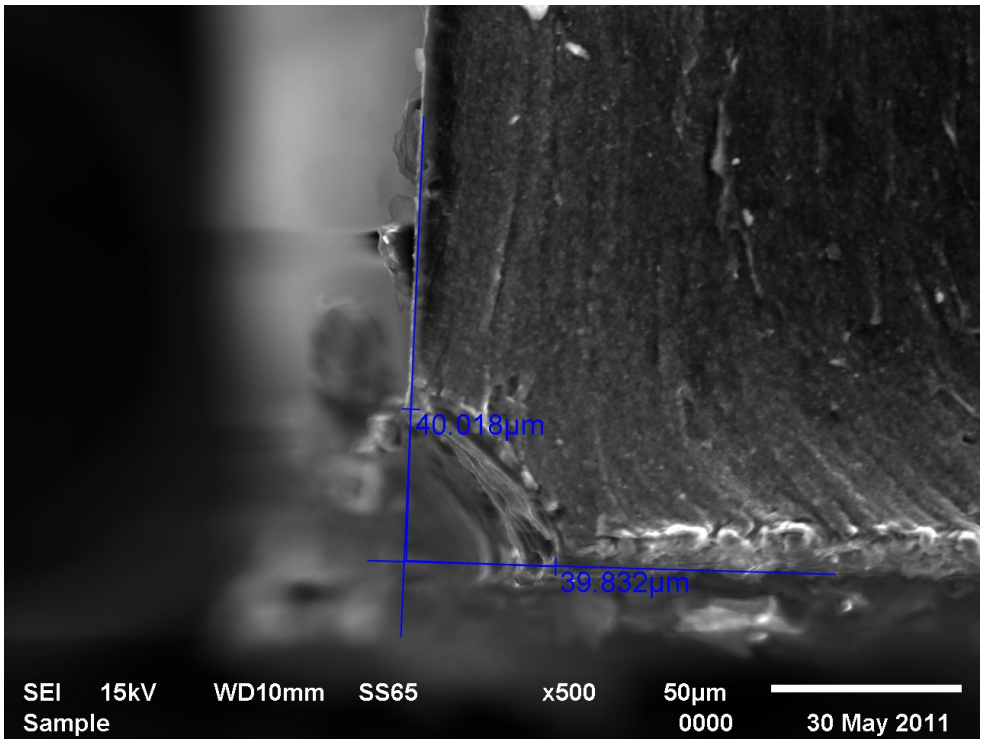
Örnek olarak eski karışım ve seri kaplanmış silecek lastiğinin K aşınma katsayısı değerini; aşınan hacim miktarı $0{,}0441mm^3$ (0,110252 mm x 0,040003 mm x 40 mm, sürtünme sırasında aşınan üçgen kesitindeki bölgenin alanından hesaplandı), toplam çalışma mesafesi 266960mm (6674 x 80 mm) , aşınma yükü değeri 0,153g ve 447

knoop sertliği değerini kullanarak yaptığımız Archard aşınma katsayısı hesaplamasında K değerini $5{,}6773 \times 10^{-4}$ olarak buluruz.

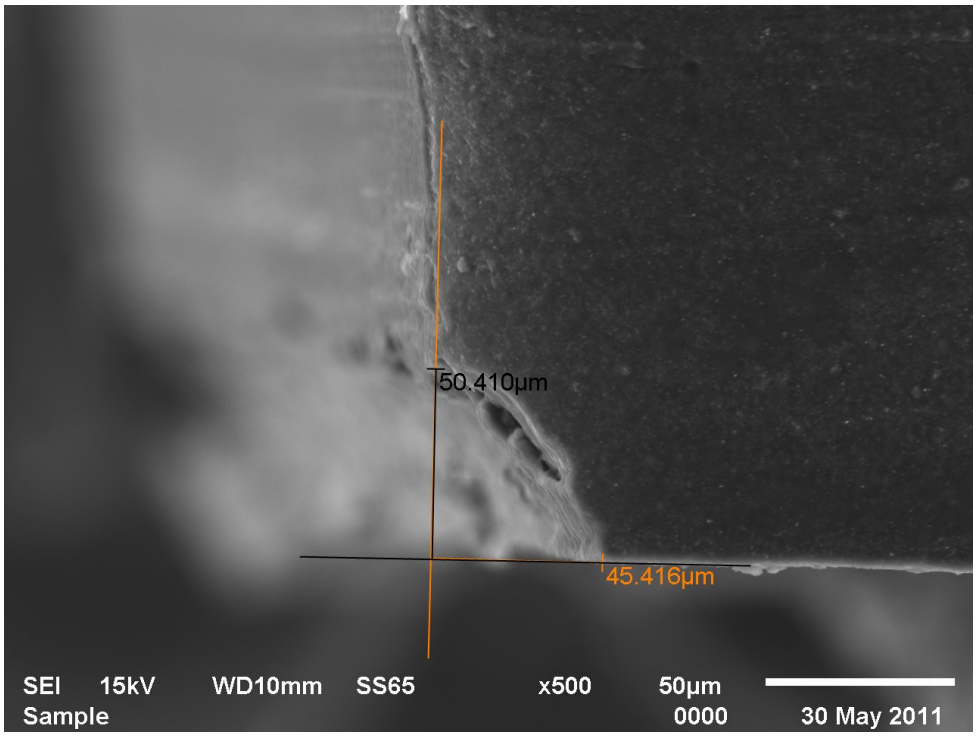
Benzer şekilde eski karışım ve G3 kaplaması için aşınma katsayısı K değerini $2{,}0519 \times 10^{-4}$ olarak, yeni karışım ve seri kaplamanın aşınma katsayısını $2{,}947 \times 10^{-4}$, yeni karışım ve G3 kaplamasının aşınma katsayısını $1{,}2439 \times 10^{-4}$ olarak buluruz.



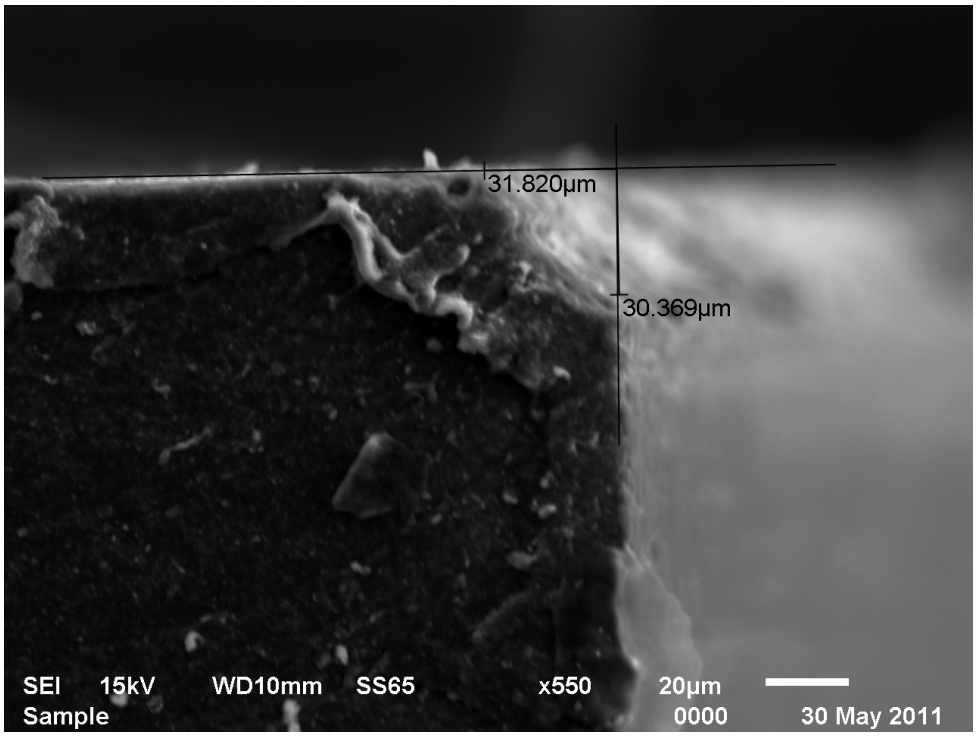
Şekil 3.24 : Eski karışım grafit kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi.



Şekil 3.25 : Eski karışım G3 kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi.

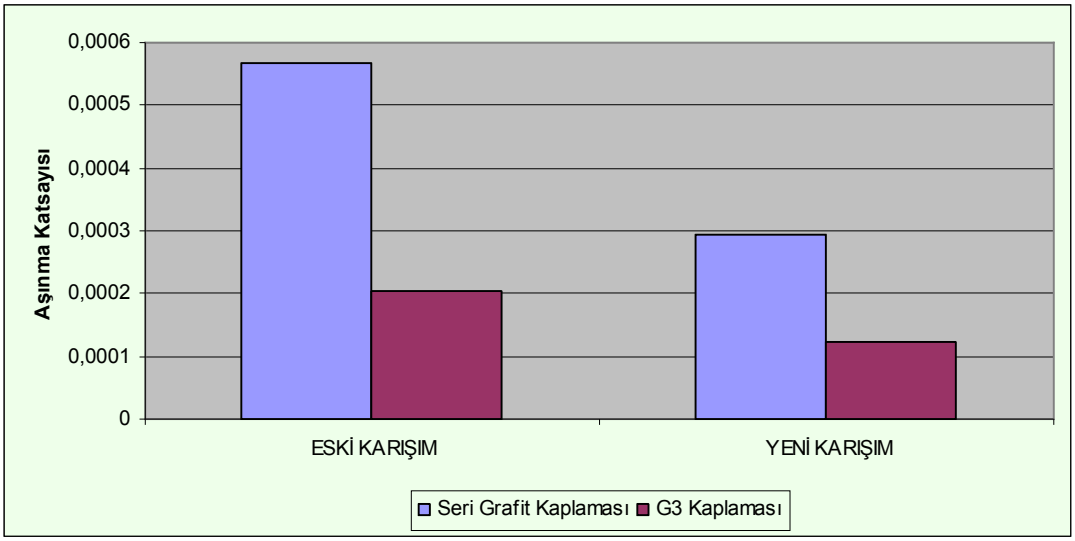


Şekil 3.26 : Yeni karışım grafit kaplanmış silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi.



Şekil 3.27 : Yeni karışım G3 kaplamalı silecekte ömür testi sonrasında ölçülen aşınma bölgesi.

Bulunan aşınma katsayılarını grafik olarak ifade etiğimizde ise yeni karışım ile beraber uygulanan G3 kaplama metodunun aşınma oranını belirgin bir şekilde düşürdüğünü gözlemlemekteyiz.



Şekil 3.28 : Kaplama tiplerine göre ölçülen aşınma katsayılarının dağılımı.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Silme performasını arttırmaya ve ürün kalitesini iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalar ve gerçekleştirilen denemeler ile mevcut kullanılan sileceğe kıyasla daha iyi bir ürün geliştirilmiştir.

Ortaya çıkan ürünün sürtünme davranışları ve aşınma karakterizasyonu sonucunda eski ürüne göre daha iyi sonuçlar elde edildiği deneylerle kanıtlanmaktadır.

Yeni geliştirilen G3 kaplamasının cam ile sergilediği 0,95'lik sürtünme katsayısına karşılık eski tip kaplamanın 1,4 değerindeki sürtünme katsayısı yeni kaplamanın etkinliğini ortaya koymaktadır. Silecek silgisi üzerine uygulanan yeni geliştirilmiş kaplama ile sürtünme katsayısı olarak %32 oranında bir iyileşme sağlandığı gözlenir.

Yeni geliştirilen kaplamada yağlayıcı ve sürtünme azaltıcı olarak grafit tozu kullanılmıştır. Kullanılan grafit tozunun ortalama tane boyutu 5.8 ile 7.1 μm değerindedir. Grafit tozu su ile dispersiyon şeklinde hazırlanan karışıma eklenmiş ve aglomerasyonu engelleyecek şekilde homojen karışım sağlandıktan sonra silecek yüzeyine tatbik edilmiştir. Hazırlanan karışımda akrilik esaslı bağlayıcı kullanılmıştır. Karışım silecek yüzeyine sprey püskürtme metodu ile uygulandıktan sonra 80°C sıcaklıkta ki fırında kürlenmiştir. Kürleme işleminin amacı grafit dispersiyonunun akrilik esaslı bağlayıcı ile gerçekleşen polimerizasyon işlemi ile yüzeye tutundurmayı sağlamak ve uygulanan yağlayıcı tabakasının etkinliğini ve kullanım süresini arttırmaktır.

Kaplama için uygulanacak yapıştırıcı ve yağlayıcı bileşenlerin oranları sistemli bir şekilde deneylerin yapılmasıyla belirlenmiş ve bu sayede optimizasyon çalışması da yapılmıştır. Gerçekleştirilen denemeler sonrasında G3 kaplamasında kullanılan %20 yapıştırıcı faz, %50 yağlayıcı faz ve %30 distile su bileşenlerinden hazırlanan kaplamanın optimum sonuçları verdiği deneylerle kanıtlanmıştır.

Grafit ile beraber kullanılmak istenen bor nitrür yağlayıcı etkisinin olumsuz olmasından ve bu nedenle bor nitrür katkısından vazgeçilmesinden ötürü tek yağlayıcı bileşen olarak grafit kullanılmıştır. Eski tip kaplamaya sahip silecek-cam

yüzey sürtünme testlerinde sürtünme katsayısı 1.4 iken yeni geliştirilen G3 no'lu kaplamaya sahip sileceğin cam üzerindeki sürtünme katsayısı 0.95'e düşmüştür. Yeni geliştirilen bu kaplama ile sürtünme katsayısında %32 oranında bir iyileşme sağlanır.

Ömür testleri gerçekleştirilirken üretici tarafından hazırlanan ve yeni karışım olarak adlandırılan başka bir kauçuk formülasyonuna sahip silecek silgileride denemelere dahil edilmiştir. Hazırlanan bu ürün özellikle aşınma dayanımı konusunda kauçuk formülasyonuna üreticinin müdahelesi ile ortaya çıkarılmış bir üründür. Üretici tarafından daha iyi aşınma özelliklerine sahip olduğu düşünülen ürünün başarılı olduğu da test sonuçlarında görülmektedir.

Ömür testi sonuçlarında yeni geliştirilen kaplama baz alındığında %64 oranında daha düşük bir aşınma katsayısı ölçülmüştür. Mevcut kaplama yöntemi ile kaplanan eski karışıma ait silecek silgisinin Archard aşınma katsayısı K değeri $5{,}68 \times 10^{-4}$ olarak ölçülmüşken yeni geliştirilen G3 kaplamasında aynı silecekte bu değer $2{,}05 \times 10^{-4}$ 'e düşmüştür.

Üreticinin geliştirmiş olduğu yeni karışım silecek lastiğinde ise eski sileceğe oranla ortalama %45 dolayında bir iyileştirme yapıldığı ömür testi sonuçlarıyla kanıtlanmaktadır. Toplamda ise hem kaplama metodu hem de karışım olarak düşünüldüğünde aşınma katsayısında %78 oranında bir iyileştirme yapıldığı görülmektedir.

Yeni geliştirilen kaplama metodunun eski metoda göre yüzeye daha iyi tutunması ve uzun süre yüzeyden ayrılmadan kalması kaplama ömrünün artırılması konusunda oldukça önemli bir gelişme olarak göze çarpmaktadır. Bununla beraber sürtünme katsayısı sonuçlarınında iyi çıkması uzun vadede ürünün eski kaplama metoduna göre avantajlarını gözler önüne sermektedir.

KAYNAKLAR

Bureau, L., Leger, L., 2003: Sliding Friction at a Rubber/Brush Interface, Laboratoire de Physique des Fluides Organises, College de France, France

Carmen M., Cepeda-Jimenez, M. Mercedes, Pastor-Blas, T.P., Ferrandiz-Gomez, J.M., Martin-Martinez, 2000: Influence of the Styrene Content of Thermoplastic Styrene-Butadiene Rubbers in the Effectiveness of the Treatment with Sulfuric Acid, Adhesion and Adhesives Laboratory, department of Inorganic Chemistiry, University of Alicante, Spain

Carolina, Garcia-Martin, Vanesa, Andreu-Gomez, J. Miguel, Martin-Martinez, 2010: Surface modification of vulcanized styrene-butadiene rubber with trichloroisocyanuric acid solutions of different active chlorine contents, Adhesion and Adhesives Laboratory, University of Alicante, Spain

Deleau, F., Mazuyer, D., Koenen, A., 2008: Sliding Friction at Elastomer/Glass Contact: Influence of Wetting Conditions and Instability Analysis, Tribology International 42, Valeo Systeme d'Essuyage, France

Ho, C.C., Khew, M.C., 1998: Surface Characterization of Chlorinated Unvulcanised Natural Rubber Latex Films, Department of Chemistry, University of Malaya, Malaysia

Horton, Erwin C., 1936: Windshield Cleaner, *United States Patent Office,* No:2045143 dated 23.06.1936

Ichise, Yoshiju, 1995: Method of Producing Rubber Wiper Blades, *United States Patent Office,* No:5478605 dated 26.11.1995

Jeon, Sun Mi, 2009: Composition for coating wiper blade rubbers, coating method using the same, and wiper blade rubbers made therefrom, *United States Patent Office,* No:US2009/0047475 A1 dated 19.02.2009

Klysubun, W., Thanawan, S., Thamasirianunt, P., Radabutra, S. Sombunchoo, P., 2007: Determination of Chlorine Content in Chlorinated, Vulcanized Natural Rubber by XANES, National Syncrotron Research Center, Thailand

Koenen, A., Sanon, A., 2006: Tribological and vibroacoustic behaviour of a contact between rubber and glass (applicaiton to wiper blade), Valeo Systeme d'Essuyage, 8 rue Lormand 78321 La Verriere, France

Maria D., R.-Sanchez, M. Mercedes, P.-Blas, Jose Miguel, M.-Martinez, 2004: Environmental Friendly Surface treatments of Styrene-Butadiene-Styrene Rubber: Alternatives to the Solvent-Based Halogenation Treatment, Department of Inorganic Chemistry, University of Alicante, Spain

Martina, L., Nevshupa, R., Alvarez, L., Huttel, Y., Mendez, J., Roman, E., Mozas, E., Valdes, J.R., Jimenez, M.A., Gachon, Y., Heau, C., Faverjon, F., 2009: Application of diamond-like Carbon Coatings to Elastomers frictional surfaces, Instituto de Cienca de Materiales de Madrid (IXMM-CSIC), Spain

Mizote, N., Katakai, A., Tamada, M., 2008: Rubber product for wiping, rubber for wiper blade, method for producing rubber for wiper blade, and wiper unit, *United States Patent Office,* No:US2008/0271277 A1 dated 06.11.2008

Persson, B.N.J., 1997: On The Theory of Rubber Friction, Institut für Festkörperforschung, Forschungszentrum Jülich, Germany

Persson, B.N.J., Tosatti, E., 1999: Qualitative Theory of Rubber Friction and Wear, Institut für Festkörperforschung, Forschungszentrum Jülich, Germany

Persson, B.N.J., 2001: Theory of Rubber Friction and Contact Mechanics, Institut für Festkörperforschung, Forschungszentrum Jülich, Germany

Radabutra, S., Thanawan, S., Amornsakchai, T., 2009: Chlorination and Characterization of Natural Rubber and its Adhesion to Nitrile Rubber, Institute of Science and Technology for Research and Development, Mahidol University, Thailand

Robinson, James W., 1991: Practical Handbook of Spectroscopy, Section 5 Infrared spectroscopy, 525-529

Shimada, Masahito, 2010: Coating Composition for Wiper Blade and Wiper Blade Manufactured Therefrom, *United States Patent Office,* No:US2010/0234489 A1 dated 16.09.2010

Stachowiak, Gwidon, Batchelor, A.W., Engineering Tribology, Second Edition, Chapter 9, Solid Lubrication and Surface Treatments, Page 419

Unabia, Lloyd Nino L., Zaide, Rhodora A., 2002: Enhanced EDX Analysis Through Effective Utilization of Electron Flight Simulator, 12th ASEMEP Technical Symposium

Zisman, W.A., 1963: Influence of Constitution on Adhesion, Industrial and Engineering Chemistry 55

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: **Aykut YILMAZ**

Doğum Yeri ve Tarihi: **Şişli - 1986**

Adres: **Hamidiye mahallesi, Yağmur sokak, No:3/1 Kağıthane - İSTANBUL**

E-Posta: **yakutyilmaz@gmail.com**

Lisans: **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- **2008-2009 Eğitim-Öğretim yılı İstanbul Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi - Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Mezunları içerisinde bölüm ikinciliği tebrik plaketi.**

Yayın ve Patent Listesi: -