

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAKAO KURUTMA TESİSİNDE KULLANILAN
NOZULLARININ TRİBOLOJİK YAPILARININ
İNCELENMESİ**

Mak. Müh. Bahadır YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

2012

EDİRNE

**T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAKAO KURUTMA TESİSİNDE KULLANILAN
PÜSKÜRTME NOZULLARININ
TRİBOLOJİK YAPILARININ İNCELENMESİ**

Mak. Müh. Bahadır YILDIRIM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**2012
EDİRNE**

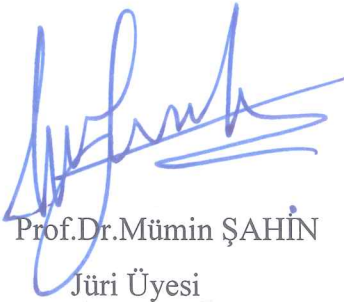
T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAKAO KURUTMA TESİSİNDE KULLANILAN
PÜSKÜRTME NOZULLARININ TRİBOLOJİK YAPILARININ
İNCELENMESİ

Mak.Müh.Bahadır YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 24/08/2012 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.



Prof.Dr.Mümin ŞAHİN
Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr. Tarık YERLİKAYA
Jüri Üyesi



Yrd.Doç.Dr. Cenk MISIRLI
Danışman -Jüri Üyesi

ÖZET

Kuruma; bir madde içinde bulunan sıvının uzaklaşmasıdır. Teknik anlamda kuruma, dış müdahale yapılarak madde içinde bulunan nem değişik metotlarla alınmasıdır. Püskürterek kurutma ise ürünün kurutma hücreesindeki sıcak hava içerisine atomize edilerek, geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece hızlı bir kuruma sağlanmasıdır. Deney yapılan bu tesiste püskürtme nozullarına kakao yüksek basınçla (180-200 bar) geldi. Kakaonun sıcaklığı püskürtme nozullarından geçerken 60°C dir. Aynı esnada kurutmaya hızlandırmak için hava ısıtıcı brülörden vantilatör yardımıyla 280-300°C sıcak su kakao kurutma haznesine yollandı. Kakaonun ilk olarak % 75 kurudu ve ani buharlaşmadan dolayı kakao sıcaklığı 60°C olarak kaldı. Haznede ilerlerken kakaonun geri kalan % 25 lik kısmı kurudu. Kakao hazneyi terk ederken 65-70°C ulaştı. Püskürtülen sıcak havada 95-100°C düştü. Her bir püskürtme nozulundan saatte bir 120 kg kakao geçirildi. Püskürtme nozulları ; 1.2379 soğuk iş takım çeliği, 1.2550 sıcak iş rakım çeliği, 1.3343 yüksek hız çeliği ve 1.4140 ıslah çeliği olmak üzere 4 adet takım çeliği kullanılarak üretildi. Bu 4 adet takım çelikleri teknik ölçülere göre işlendi, yüzeyleri parlatıldı, ısıtılma işlemiyle istenilen sertliğe getirilerek sertlikleri ölçüldü ve kakao kurutma tesisinde püskürtme nozulu olarak kullanıldı. Sonuç olarak püskürtme nozullarının kaç saat ömrü olduğu tespit edildi, ve meydana gelen aşınmaların analiz yapıldı.

Anahtar kelimeler: Püskürtmeli kurutma, Püskürtme nozulu, Kakao, Takım çeliği.

ABSTRACT

The method I want to deal with in this paper is that the product was atomized inside the hot air in a drying chamber, in this way a large surface was provided, therefore, quick drying was ensured. In cacao drying facility where this experiment was done cacao was pushed in to the spray nozzles under high pressure of 180-200 bar. The heat of the cacao reached 60°C when it passed through the spray nozzles. In the meantime, to speed up drying hot water at (280-300°C) was sent to the cacao drying chamber from the air heater burner by a ventilator. Firstly 75 % of cacao was dried and due to the sudden evaporation cacao temperature remained at 60°C. When cacao moved into drying chamber, 25 % of it dried. Cacao temperature reached 65-70°C when it left the drying chamber. Hot air which was sprayed to the drying chamber decreased to 95 -100°C. 120 kgs of cacao were passed through each spray nozzles in one hour. Spray nozzles were made by using four different types of tool steel. Spray nozzles were processed according to the technical dimensions, were polished, were brought to the desired hardness by thermal processes. Then spray nozzles hardness and surface roughness was measured before and after machining & heat treatments, in this way they were used in cacao drying facility. As a result, life-spans of the spray nozzles were determined after the experiment structure of tool steels were analyzed.

Keywords: Cacao drying facility, Spray Nozzle, Cacao, Tool Steels.

ÖNSÖZ

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezinde, çikolata ve çikolata içeren diğer gıdalarda kullanılan kakaonun tüketime hazır hale gelmesi için nasıl bir yöntemle kurutulduğu anlatılmıştır. Bu esnada yüksek basınçta gelen kakao ve kakao yağının, kakaoyu kurutan (atomize) püskürtme nozullarında meydana getirdiği yapısal bozukluklar incelenmiştir.

Bu tezin yapımında, kakao kurutma tesisinde püskürtme nozullarının kullanılmasında konusunda TOPKAPI ÜLKER A.Ş.'ye, püskürtme nozullarının deneylerde kullanıma hazır hale getirirken teknik ölçülerde işlenip yüzey parlatma işlemlerinin yapılmasında GÜVEN MAKİNA'ya, ısıtma işlemlerinin yapılmasında QUANTUM METAL'e, püskürtme nozullarının spektral analizlerinin, mikro yapılarının ve yüzey pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde İKİTELLİ KOSGEB'e ve Trakya Bilimsel Araştırma Projeleri (TUBAP-2011/99) Birimine bana bu tezin yapında fikir veren, tecrübeleriyle bana desteğiyle her zaman yanımda olan, tez danışmanım değerli hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Cenk MISIRLI'ya ve manevi desteklerini sürekli arkamda hissettiğim aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ağustos 2012

Bahadır YILDIRIM

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
2.TRİBOLOJİNİN ANA ELEMANLARI.....	2
2.1. Sürtünme	2
2.1.1. Sürtünme Çeşitleri	5
2.1.1.1. Sıvı Sürtünme.....	5
2.1.1.2. Yarı Sıvı Sürtünme.....	5
2.1.1.3. Kuru Sürtünme.....	5
2.2. Aşınma.....	5
2.2.1. Aşınma Mekanizmaları	7
2.2.1.1. Adhezyon Aşınması	7
2.2.1.2. Abrasif Aşınma:	8
2.2.1.3. Erozyon Aşınması.....	10
2.2.1.4. Yorulma Aşınması:	10
2.2.1.5. Mekanik Korozyon Aşınması	11
2.2.2 Aşınmanın Ölçülmesi.....	13
2.2.3. Aşınma Testlerinin değerlendirilmesi.....	15
2.2.4. Aşınma Test Cihaz Modelleri.....	16
2.3. Yağlama.....	18
2.3.1. Yağlayıcı Çeşitleri.....	18
2.3.1.1. Sıvı Yağlayıcılar	18
2.3.1.2. Organik Yağlayıcılar.....	18
2.3.1.3. Sıvı Mineral Yağlayıcılar.....	18

2.3.1.4. Sentetik Yağlayıcılar.....	19
2.3.1.5. Katı Yağlayıcılar.....	19
3.KAKAO.....	24
3.1. Kakao Yağı.....	24
3.2.Kakao Yağının Kimyasal Özellikleri.....	25
3.3. Kakao Tozu.....	25
3.4. Kakaonun Kurutulması.....	26
4.GIDA KURUTMANIN AVANTAJLARI.....	28
4.1. Kurutmayı Etkileyen Faktörler.....	28
5.PÜSKÜRTMELİ KURUTMA YÖNTEMİ.....	30
6.DENEYSEL ÇALIŞMA.....	34
6.1.Giriş	34
6.2. DeneySEL Prosedür	34
6.2.1. İşlenen Parçalar.....	34
6.2.2. Püskürtme Nozullarının Spektral Analizi	36
6.2.3. Parçaların Isıl İşlemleri	37
6.2.4. Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi.....	41
6.2.5. Yüzey Pürüzsüzlük değerlerinin Ölçülm.....	42
7.SONUÇLAR VE İRDELEME.....	44
7.1. Sonuçlar.....	46
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	52

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1	Değişik sürtünme hallerinde sürtünme katsayısı.....	4
Tablo 1.2	Aşınma mekanizmaların bağlı olarak kritik malzeme özellikleri.....	12
Tablo 1.3	Çeşitli katı yağlayıcılar için sürtünme katsayıları.....	20
Tablo 2.1	Kakao yağındaki gliserid yüzdeleri.....	25
Tablo 2.2	Kakao tozundaki kompozisyonu.....	26
Tablo 2.3	Fermantasyon ve kurutma işleminden sonra kakaonun kimyasal yapısı.....	27
Tablo 5.1	1.2550 püskürtme nozulunun spektral analizi.....	36
Tablo 5.2	1.2379 püskürtme nozulunun spektral analizi.....	36
Tablo 5.3	1.3343 püskürtme nozulunun spektral analizi.....	36
Tablo 5.4	1.4140 püskürtme nozulunun spektral analizi.....	36
Tablo 5.5	Püskürtme nozullarının sertlik değerleri.....	42
Tablo 5.6	Püskürtme nozullarının yüzey pürüzlülük değerleri.....	43
Tablo 6.1	Deneyden sonraki püskürtme nozullarının kullanım ömürleri.....	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Tribolojik sistemde enerji durumu.....	1
Şekil 1.2: Sürtünme esnasındaki gerçek sürtünme noktaları.....	2
Şekil 1.3: Atomik boyutta sürtünme.....	3
Şekil 1.4: Sürtünmenin çeşitleri	5
Şekil 1.5: Aşınma safhaları.....	6
Şekil 1.6: Malzeme yüzeyindeki adezyon çizikleri.....	8
Şekil 1.5: Abrasif aşınma	9
Şekil 1.8: Saf metallerin abrasive aşınma dirençleri üzerine sertliğin etkisi.....	9
Şekil 1.9: Sonsuz dişlideki yorulma aşınması	11
Şekil 1.10: Şematik kayma ve sürütme ve aşınma test modelleri.....	17
Şekil 1.11: PTFE ‘nin atomik yapısı.....	21
Şekil 1.12: Grafitin atomik yapısı.....	22
Şekil 1.13: Mobilden di-sülfürün(MoS ₂) atomik yapısı.....	23
Şekil 2.1: Kakao bitkisi.....	24
Şekil 4.1: Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi.....	30
Şekil 4.2: Püskürtmeli kurutucuda damlacık-hava karışımının tipleri.....	32
Şekil 4.3: Püskürtme kısmının şematik şekli.....	32
Şekil 5.1: Püskürtme nozullarının teknik ölçüleri.....	34
Şekil 5.2: Püskürtme nozullarının tesisteki dağılımları.....	35
Şekil 5.3: Parçaların işlendiği torna makinası.....	35
Şekil 5.4: Spektral analizin yapıldığı cihaz.....	37
Şekil 5.5: Isıl işlemde kullanılan vakumlu fırın.....	37
Şekil 5.6: 1.2379 Soğuk iş çeliğinin ısıl işlemini gösteren diyagram.....	38
Şekil 5.7: 1.2550 Soğuk iş çeliğinin ısıl işlemini gösteren diyagram.....	39
Şekil 5.8: 1.3343 Soğuk iş çeliğinin ısıl işlemini gösteren diyagram.....	39
Şekil 5.9: 1.4140 Islah çeliğinin ısıl işleminin yapıldığı tuz banyosu.....	40
Şekil 5.10: 1.4140 Soğuk iş çeliğinin ısıl işlemini gösteren diyagram.....	41

Şekil 5.11: Rocwell sertlik deneyinin yapıldığı cihaz.....	41
Şekil 5.12: Yüzey pürüzsüzlük deneyinin yapıldığı cihaz.....	42
Şekil 6.1: Püskürtme nozullarının kullanıldıktan sonraki durumları.....	44
Şekil 6.2: 1.1.3343 püskürtme nozulunun mikroyapısı (50 kere büyütülmüş).....	44
Şekil 6.3: 1.1.3343 püskürtme nozulunun mikroyapısı (500 kere büyütülmüş).....	44
Şekil 6.4: 1.1.2379 püskürtme nozulunun mikroyapısı (50 kere büyütülmüş).....	45
Şekil 6.5: 1.1.2550 püskürtme nozulunun mikroyapısı (50 kere büyütülmüş).....	45
Şekil 6.6: 1.1.4140 püskürtme nozulunun mikroyapısı (50 kere büyütülmüş).....	45
Şekil 6.7: 1.1.2379 püskürtme nozulunun mikroyapısı (500 kere büyütülmüş).....	45
Şekil 6.8: 1.1.2550 püskürtme nozulunun mikroyapısı (500 kere büyütülmüş).....	45
Şekil 6.9: 1.1.4140 püskürtme nozulunun mikroyapısı (500 kere büyütülmüş).....	45

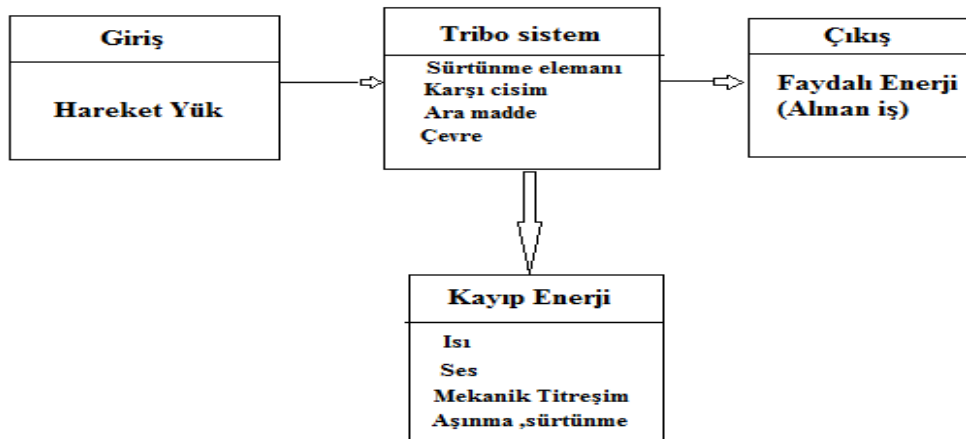
1.GİRİŞ

Triboloji, birbirlerine göre hareket eden ve birbirleriyle etkileşim halinde olan yüzeyleri inceleyen bilim dalıdır (**Şafak H.,E.,2008**). Herhangi bir makinede birbirleriyle sürtünerek iş gören birçok parça vardır. Dişliler, rulmanlar, kamlar, miller, pistonlar, teker lastikleri, fren balataları bunlara örnek gösterilebilir.Bunların hepsinde yüzeyler birbiriyle etkileşim halinde ve birbirine göre izafi hareket yapar (**Sheffield Uni., 2008**).

Makine elemanlarının ortalama %70'inin hurdaya ayrılma sebebi aşınmadır.Bu yüksek orandan dolayı,malzemelerde meydana gelen kayıplar,aşınan parçaların değiştirilmesi,bu değişimlerin maliyeti,aşınmadan dolayı meydana gelen parçaların bakım ve onarımı için sarf edilen emek,insan istihdamı ve aynı şekilde sürtünmeden dolayı meydana gelen kayıplar düşünülünce tribolojinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır (**Vikipedi, 2008**).

Triboloji alanında yapılan araştırmalar genellikle malzemelerin sürtünme katsayısının ve aşınma mekanizmalarının belirlenmesi, sürtünme ve aşınmaya sebep olan yüzeylerin birbirleriyle temaslarını kesecek ince film malzemelerin veya endüstriyel yağlarının bulunması gibi konuları içerir. Ancak her zaman sürtünmenin ve aşınmanın azaltılması istenmeyebilir; örneğin araçlardaki fren balatalarında sürtünme katsayısının ve silgilerde de aşınmanın yüksek olması istenir (**Stachowiak G.W., and Batchelor A.W., 2001**).

Tribolojinin esas olarak incelendiği konular;karşılıklı etkileşen sürtünme elemanı,karşı cisim ve ara madde(yağ) gibi elemanlarda çalışma şartları(hız,kuvvet,ısıl etkiler ve çevre şartları vb.) etkisiyle ortaya çıkan aşınma olaylarıdır (**Koç,E.,2004**).



Şekil 1.1.Tribolojik sistemde enerji durumu(Say.U.,2008).

2. TRİBOLOJİNİN ANA ELEMANLARI

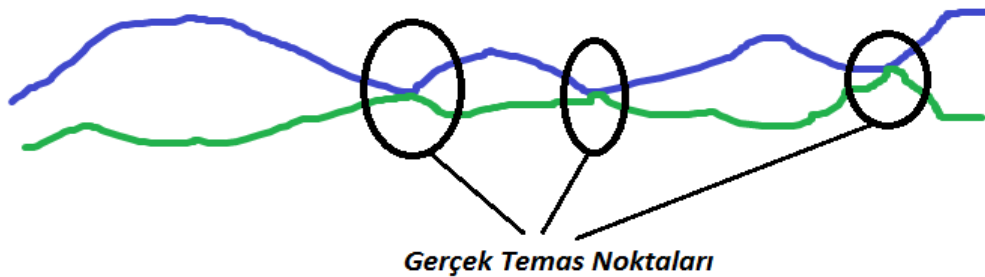
2.1 Sürtünme

Genel anlamda sürtünme, temasta olan ve izafî hareket yapan iki cismin temas yüzeylerinin harekete veya hareket ihtimaline karşı gösterdikleri dirence denir (**Vikipedi, 2008**).

Sürtünme kuvveti cisimler hareket ederken temas ettikleri yüzeylerin sürtünmesinden kaynaklanan ve yer değiştirmeye zıt yönde ortaya çıkan kuvvete denir. Bir zemin üzerinde bulunan bir cismi harekete geçirmek için, yüzeyin cisme uygulanan hareketin zıt yönünde oluşan sürtünme kuvvetinden daha büyük bir kuvvete gereksinim vardır. Eğer cisme uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetine eşit ya da sürtünme kuvvetinden küçükse cisim hareket etmez (**Yaman,S., 2008**).

Yüzeyler ne kadar düz görünürse görünsün, mikroskobik boyutta girinti ve çıkıntılara sahiptir. İki yüzey üst üste geldiğinde, yüzeyler arasındaki temas her iki yüzeyin tepe noktaları arasında olur. Böylelikle gerçek temas alanı görüldüğünden çok daha küçük olur. Cismin ağırlığı arttığında cismin ve yüzeyin girinti çıkıntıları daha fazla birbiri içine

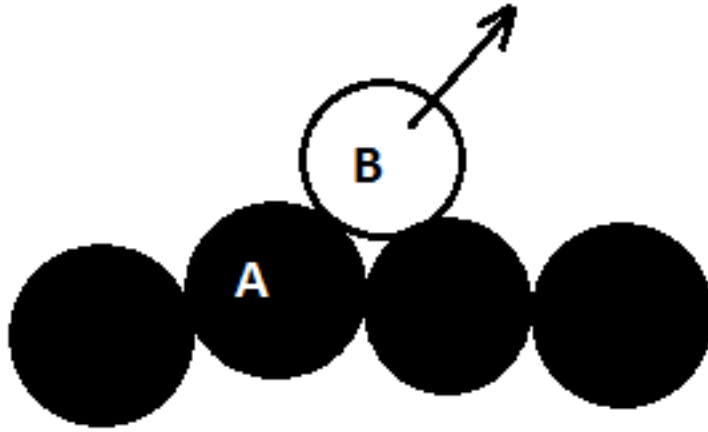
gireceğinden sürtünme de artar. Yani cismin hareketini engelleyen kuvvetin büyüklüğü de artar. Sürtünme kuvveti arttığı için cismin hareketini sağlamak için daha fazla bir kuvvet gerekmektedir (**Yaman,S., 2008**).



Şekil 1.2. Sürtünme Esnasındaki Gerçek Temas Noktaları (**Sheffield Uni., 2008**).

Sürtünme genel olarak statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. Malzemelerin temas noktaları arasında bağıl hareket yoksa statik sürtünmeden söz edilir (**Babalık, F.C., 2000**).

Sürtünme Şekilde atomik boyutta incelenmiştir. B atomu hareket ettiğinde kendisine yapışmış haldeki A atomu da onu takip etmek isteyecektir. B atomu hareketine devam ettikçe, birlikte yapılan bu hareket, A atomunun komşuları tarafından A' ya uygulanan ve onu eski pozisyonuna doğru çeken kuvvetler, B atomunun uyguladığı kuvveti aşana kadar devam edecektir. Bu noktada A ve B atomu ayrılacaklardır. A atomu aniden yerine doğru dönecek ve bu esnada çarpıştığı komşu atomlarının titreşimine sebep olacaktır. Bu bahsedilen atomun yer değiştirmesinden dolayı oluşan titreşim de sürtünme sırasında oluşan ısıyı meydana getirmektedir (**Ludema,K.T., 1996**).



Şekil 1.3 Atomik Boyutta Sürtünme (**Ludema,K.C., 1996**).

Eğer temas eden yüzeyler arasında bağıl hareket mevcutsa bu durumdaki sürtünmeye dinamik veya kinetik sürtünme denir. Bu durumda sürtünme kuvveti temas halindeki yüzeyleri oluşturan atom veya moleküllerdeki, zıt işaretli yerel elektrostatik yük dengesizliklerinin birbirini çekmesinden kaynaklanır (**Belice,T., 2002**).

Eş çalışan malzemelerin cinsi	Sürtünme katsayısının değerleri
Kuru sürtünme	
Çelik-Beyaz metal	0,15...0,3
Çelik-Bakır Kurşun alaşımı	0,15...0,3
Çelik-Naylon	0,3...0,5
Teflon-başka malzemeler	0,04...0,12
Grafit-başka malzemeler	0,08...0,16
Kösele-Odun	0,3...0,5
Lastik-başka malzemeler	0,6...0,9
Yarı sıvı (sınır) sürtünmesi	
Eş çalışan malzemelerin cinsi	Yağlayıcı maddenin tipi
Çelik-Dökme Demir	Gres 0,05...0,1
Çelik-Bronz	Yağ 0,02...0,1
Çelik-Naylon	Yağ 0,05...0,1
Katı yağlayıcı maddeler	
İnce bir kurşun tabakasıyla kaplanan Çelik	0,08...0,20
Grafit veya Mobilden disülfitten oluşan bir tabaka ile kaplanan metaller	0,06...0,20
Sıvı Sürtünmesi	
Hidrodinamik	0,001...0,01
Hidrostatik	0,00001...0,001
Yuvarlanma sürtünmesi	
Düzlem üzerinde silindir	0,00001...0,001
Yuvarlanmalı Yataklar	0,001...0,01
Geometrik bakımdan hatalı cisimler	0,05...0,2

Tablo 1.1. Değişik sürtünme hallerinde sürtünme katsayısı.

Sürtünme yüzeyler arasındaki temas noktalarıyla ilişkili olduğundan yüzeyler arasındaki teması kesmek ya da azaltmak için yağlayıcı kullanmak sürtünmenin azaltılmasında kullanılan en yaygın yöntemdir (Şafak H.,E.,2008).

2.1.1 Sürtünme Çeşitleri :

2.1.1.1 Sıvı sürtünme :

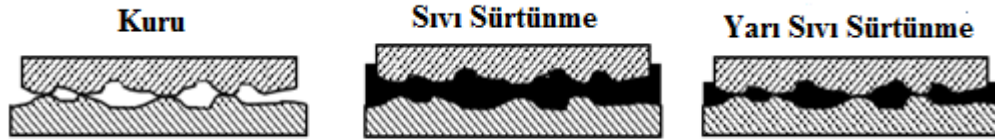
Sıvı sürtünme de iki yüzey arasındaki yüzey pürüzlülükleri karşı tarafa temas etmeyecek şekilde yüzeyler arasında yağ filmi oluşturulmuştur. Bu durumda sürtünmeyi oluşturan belirgin faktör yağın viskozitesidir.

2.1.1.2 Yarı Sıvı Sürtünme :

Yüzeyler arasındaki yağ filmi yeterli kalınlıkta oluşmadıysa bazı pürüz tepcikleri birbirlerine temas edebilir. Bu durum da yarı sıvı sürtünmedir.

2.1.1.3 Kuru Sürtünme :

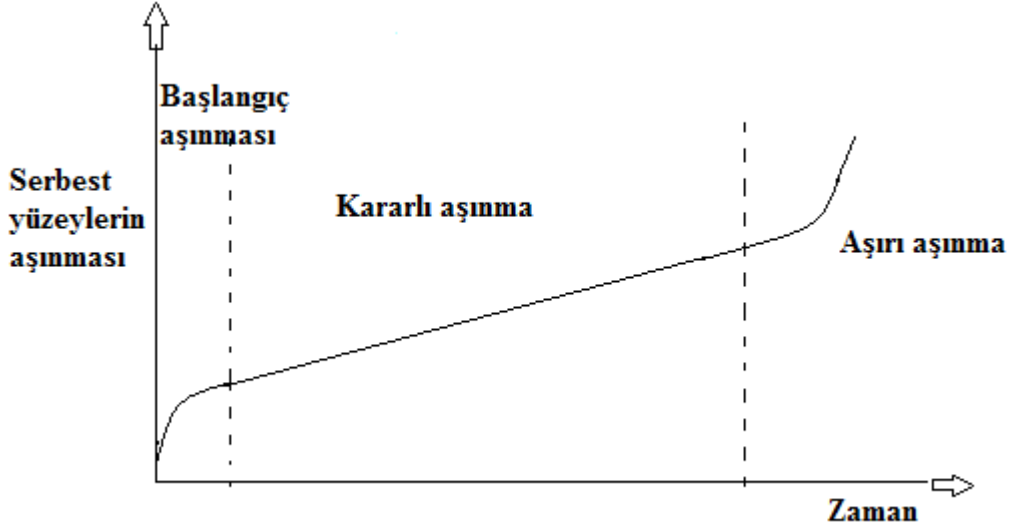
Eğer temas eden yüzeyler arasında herhangi bir yağ kullanılmasa bu sürtünmeye kuru sürtünme denir (**Babalık,F.C., 2000**).



Şekil 1.4.Sürtünmenin Çeşitleri (**Babalık,F.C., 2000**).

2.2 Aşınma

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirine göre bağlı hareket yapan sürtünme halindeki cisimlerin yüzeylerinde sürtünme etkisiyle oluşan ve istenilmeyen malzeme kaybıdır. Ayrıca, Aşınma mekanizmaları, sürtünme süresince meydana gelen kompleks(komplike)değişikliklere bağlı tanımlanmaktadır.(**Yıldız,T.,Kaya,A.,G.,2006**) Bunun sonucu olarak makine elemanları ve ekipmanları her geçen süre aşınır ve işlevlerini sağlıklı olarak yerine getiremez hale gelir (**Vikipedi, 2008**).



Şekil 1.5. Aşınma Safhaları (Özdemir U., Erten M., 2003).

Aşınmalar belli bir süre zarfında meydana gelir. Zamanla gelişen aşınmanın kademeleri şu şekildedir: Başlangıç (rodaj) aşınması: zamanla gelişen aşınmanın ilk safhası makine elemanlarının alışma safhasıdır. Bu safhada hızlı ve şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu ilk aşınmaya rodaj aşınması denir. Makine elemanlarının ömürlerinin uzun olması için rodaj aşınması mümkün olan en kısa zamanda, en az yükte ve normal hızdan daha düşük hızlarda tamamlanmalıdır. Bunu sağlamak için makine elemanları rodaj yani başlangıç için özel üretilmiş özel katkılı yağlayıcılarla yağlanırlar (Vikipedi, 2007a).

Asıl (kararlı) aşınma safhası: Rodajdan sonraki aşama, makine elemanının ömrünü belirleyen asıl aşınma safhasıdır. Bu safhada aşınma hızı çok azdır. Rodaj ne kadar uygun yapılırsa makine elemanı ömrü o kadar uzun olur (Vikipedi, 2007a).

Aşırı (şiddetli) aşınma safhası: makine elemanı önceden belirlenen bir aşınma sınırına kadar aşındığı zaman normal çalışma ömrünü tamamlamış demektir. Bu aşınma sırasında aşınma hızı bir hayli artmıştır ve makine elemanı değiştirilmelidir (Vikipedi, 2007a).

Aşınmanın azaltılması için tasarım esnasında dikkat edilmesi gereken bazı kriterler şöyledir:

- 1.Temas basıncının düşük tutulması
- 2.Kayma hızının düşük tutulması
- 3.Az pürüzlü yataklama yüzeylerinin seçilmesi
- 4.Yüksek sıcaklıklardan kaçınılması
- 5.Sert malzemelerin kullanılması
- 6.Düşük sürtünme katsayılı malzemelerin kullanılması
- 7.Yağlayıcı kullanılması.(Ludema K.C., 1996).

2.2.1 Aşınma Mekanizmaları :

Aşınma, dış etkiler altında oluşan fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sonucu olarak ortaya çıktığından, pratikte bir aşınma hali değil, birçok aşınma halleri veya başka bir deyişle aşınma mekanizmaları vardır. Bunlar ;

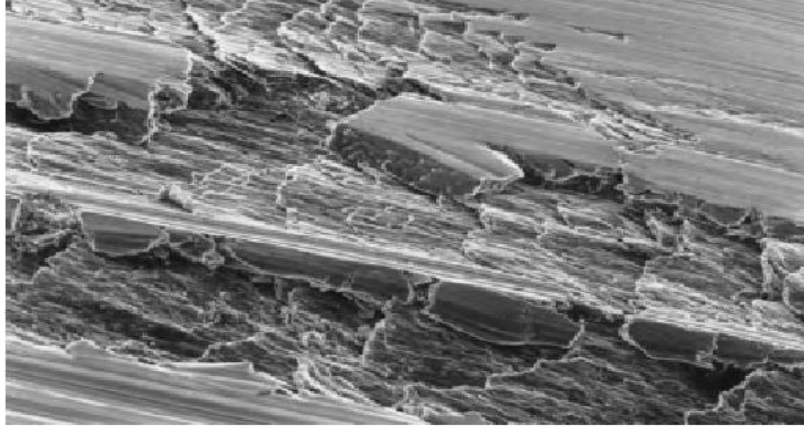
- Adezyon aşınması
- Abrazif aşınma,
- Erozyon aşınması,
- Yorulma aşınması,
- Mekanik korozyon olmak üzere sıralanabilirler (Akkurt,M.,2000).

2.2.1.1 Adezyon Aşınması :

Adezyon aşınması en yaygın aşınma çeşididir ve yüksek aşınma oranları ile sürtünme katsayısında kararsızlıklar doğurur.Özellikle kayan mekanizmalar adezyon aşınması sonucu çok hızlı bir şekilde hasara uğrar. Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas alanları çok küçük olduğundan bu noktalarda çok yüksek basınçlar oluşmaktadır.

Bu yüksek basınç nedeniyle temas noktalarında malzemeler akma sınırına ulaşır ve bölgesel mikro kaynaklar oluşur. Bu sırada iki cisim arasında devam eden bağlı hareket sonucu kaynak bağı kopar ve sonuçta cismin birinden malzeme eksilmesi oluşur. Bu duruma kaynak bağı teorisi denir. Bu malzeme kaybı adezyon aşınmasını oluşturur (Stachowiak,2001;Akkurt,M.,2000).

Adezyon aşınması, yüzeylerde birtakım çizikler şeklinde (Şekil 1.6) veya tam tersine yüzeyleri parlatmış gibi görülmektedir (Akkurt,M., 2000).



Şekil 1.6. Malzeme Yüzeyindeki Adezyon Çizikleri (Stachowiak G.W.,A.W., Batchelor, 2001).

Adezyon aşınmasını önlemek için; malzemenin diğer mühendislik özelliklerini bozmayacak şekilde mümkün olduğunca sert olması gerekmektedir. Yüzey topografyasının iyileştirilmesi, temas yüzeyinin arttırılarak yüzey basınçlarının düşürülmesi ve yüzeyin güçlendirilmesi adezyon aşınmasını azaltmaktadır. Adezyon aşınmasını önlemek için alınabilecek bir diğer tedbir yağlamadır. Yüzeylere yapışmış yağ tabakası adezyon aşınmasını büyük oranda önlemektedir (Akkurt, M.,2000).

2.2.1.2 Abrazif Aşınma :

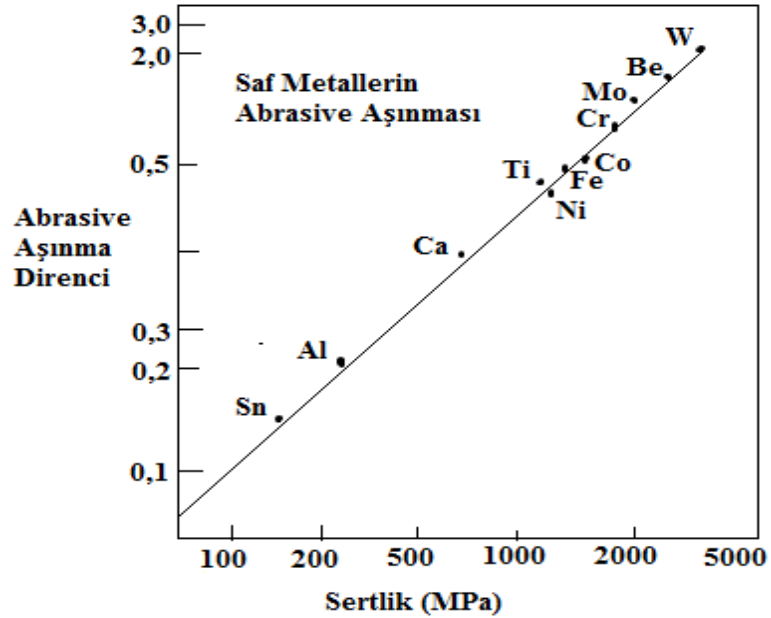
Abrazif aşınmada yüzey hasarı, birbirine göre bağlı hareket yapan iki cismin temas yüzeyleri arasına ortam şartları dolayısıyla giren toz, talaş veya malzeme yüzeylerindeki oksidasyon gibi etkenler sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi sonucu oluşur. Sert partiküllerinin veya sert malzemelerin katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve direnç göstermesi aşınmaya neden olur.(Koç,R.,Mutlu,İ.,2005)

Çok hızlı meydana gelen ve etkisini çok çabuk gösteren bir aşınma türü olduğundan eğer önlem alınmazsa büyük hasarlara ve maddi kayıplara sebep olur.



Şekil 1.7 Abrasif Aşınma (Vikipedi, 2007b) .

Abrasif aşınmanın azaltılması için aşınmayı oluşturan taneciklerin ve partiküllerin sistem içine girmemesini sağlayacak şekilde sızdırmazlık sağlanması ve yüzeylerin sık sık temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca abrasif aşınma malzemelerin sertliğiyle doğrudan ilişkili olduğundan, abrasif aşınmanın önlenmesi için de yine sertlikten yararlanılır.



Şekil 1.8. Saf Metallerin Abrasif Aşınma Dirençleri Üzerine Sertliğin Etkisi.(Yıldız T.,Gür,A.,K.,2006) .

Bu sebeple abrazif aşınmayı önlemeye yönelik olarak sert malzeme kullanılmalı veya yüzeylerin sertliği ısıtılma işlemi, elektro-kaplama, alev püskürtme, nitrasyon, plazma sprej, borlama, CVD, PVD gibi yüzey kaplama yöntemleriyle artırılmalıdır. **(Vikipedi 2007b; Akkurt, M., 2000)**

2.2.1.3 Erozyon Aşınması :

Bir yüzeye hızlıca püskürtülen katı parçacıkların, sıvı ya da gaz jetlerin temas ettiği yüzeyi aşındırarak o yüzeyden parça koparılması işlemine korozyon denir **(Vikipedi, 2007a)**.

Erozyon aşınması; malzeme türü, çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık büyüklüğüne bağlı olarak farklı mekanizmalarla ortaya çıkar **(Şafak, H., E., 2008)**.

Çarpma açısı küçük olduğunda aşınma prosesi abrazif aşınmaya benzer. Çünkü aşınma parçacıkları çarpma sonrasında aşınma yüzeyi boyunca bir tarama hareketi yaparlar. Eğer açı büyük ise tipik erozyon görülür **(Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., 2001)**.

Aşındırıcı parçacıkların hızı da erozyon üzerinde çok büyük etki eder. Eğer hız çok düşükse çarpma anındaki gerilmeler plastik deformasyon için yetersiz kalır ve aşınma yüzey yorulması şeklinde olur.

Hız yükseldiğinde plastik deformasyon meydana gelir. Eğer aşındırıcı parçacıklar küresel veya yuvarlak geometriye sahipse yüksek hızlarda aşırı plastik deformasyon oluşur, parçacıklar köşeli geometriye sahipse kesme veya kırılma meydana gelir **(Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., 2001)**.

2.2.1.4 Yorulma Aşınması :

Çok tekrarlı yüklemeler sonucunda, özellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında ortaya çıkan ve temas yüzeylerinde çok küçük çukurlukların oluşması şeklinde meydana gelen aşınma türüdür. **(Akkurt, M., 2000)**



Şekil 1.9. Sonsuz Dişlideki Yorulma Aşınması (Vikipedi, 2008).

Bu elemanlarda yüzeylerin birbirlerine temas alanları küçük olduğundan, yüzeylerde Hertz yüzey basınçları meydana gelir. Bu basınçlar yüzeyin hemen altında kayma gerilmelerine sebebiyet verir. Değişken zorlanmalar altındaki bu makine elemanlarında yorulma olayı başlamış olur (Stachowiak,G.W.,Batchelor,A.W.,2001; Akkurt,M., 2000) .

Yorulma esaslı aşınmayı önlemenin en temel yolu etkileşen yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısının azaltılmasıdır. Ancak aynı zamanda yüzeyler arasındaki yağın etkisine de çok dikkat etmek gerekmektedir. Yüksek basınç altında, yağın yüzey çatlaklarına girmesi, bunların büyümesinde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca yüksek kayma ve basma mukavemetine sahip malzemeler kullanılmalıdır. Pitting denilen yorulma çukurcuklarının oluşumunda sertlik oldukça önemlidir. Yorulma aşınmasını önlemenin ve engellenmenin bir yolu da yüzeyler sertleştirilmelidir (Stachowiak.G.W., Batchelor,A.W., 2001,Akkurt,M., 2000).

2.2.1.5 Mekanik Korozyon Aşınması :

Metal ve alaşımların kararlı halleri olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bunun sonucu olarak metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile tepkimeye girerek, önce iyonik hale ve oradan da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar; yani kimyasal değişime uğrarlar ve bozunurlar. Sonuçta metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal, mekanik veya elektriksel özelliği istenmeyen değişikliklere uğrar. Korozyon,metal esaslı malzemelerin bulunduğu ortamla doğal yollardan reaksiyona girmesi ve dışarıdan herhangi bir enerji yardımı almamasıdır (Meb,2000; Vikipedi 2007c).

Özellikle korozif sıvı ve gazlarla temas halinde bulunan malzemelerde bu kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda malzeme yüzeylerinde reaksiyon ürünleri oluşur. Bu reaksiyon ürünleri yüzeye sağlam bir şekilde bağlanırsa yüzeyde ince fakat sert bir tabaka oluşur ve böylelikle esas(ana) malzemenin aşınma mekanizmasında bazı değişiklikler olur (**Bhushan, 2001; Akkurt,M.,2000**).

Değişken yük altında bu sert tabaka parçalanır ve sert parçacıklar kırılarak aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan yani kirlenmeyen temas yüzeylerinde reaksiyon sonucunda tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında bu sert tabaka tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder (**Akkurt,M., 2000**).

Aşınma tipine bağlı olarak, malzemelerden farklı özelliklerde olması istenir. Aşağıdaki tabloda hangi aşınma türünde malzemelerin hangi özellikleri barındırması gerektiği gösterilmiştir (**Ezirmik K.,V.,2008**).

Kritik malzeme özelliği	Aşınma Mekanizmaları							
	Abrazif	Erozif	Kavitasyon	Korozif	Freting	Adezif	Ergime	Yorulma
Sertlik	X	X				X		
Tokluk		X	X					X
Yorulma direnci	X	X	X		X			X
Kimyasal reaksiyona girmeme				X	X			
Yüksek ergime noktası								
Heterojen mikro yapı	X							
Metalik olmayan kareler				X		X		

Tablo1.2. Aşınma mekanizmaların bağlı olarak kritik malzeme özellikleri (**Stachowiak,G.W.,Batchelor,A.W.,2003**).

2.2.2 Aşınma Ölçülmesi

Sürtünme ve aşınma yüzeyler arasındaki birçok farklı ve karmaşık etkileşim sonucu doğmaktadır ve bu etkileşimler malzeme cinsi, ortam şartları, yüzeylerin geometrik ve topografik yapısı, sıcaklık gibi birçok etkenle değişebileceği için sürtünme ve aşınma için kitaplardan elde edilebilecek sayısal veriler her zaman sistem özelliklerini yansıtmamakta ve doğru olamamaktadır. Aşınma direncinin değeri, diğer bazı standart testlerle bulunan özellikler (sertlik, young modülü, yoğunluk vb.) gibi ölçülemez. Bundan dolayı her tribolojik sistem için aşınma direnci ve değerleri kendine hastır ve farklı parametrelerle yapılan testlerle(deneylerle) ölçülür **(Bhushan,B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund,U., 2001; Ludema, K.C.,1996).**

Malzemelere uygulanan tribolojik testler malzemenin tribolojik özellikleri hakkında değil tüm tribolojik sistem hakkında bilgi verir. Ve tribolojik testin değerlendirilmesi için öncelikli iki unsur vardır; sistem karakteristiği ve test amacı olarak değerlendirilmelidir.**(Bhushan,B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund,U., 2001)**

Genelde aşınma araştırmaları şu amaçlarla yapılır:

- Tribolojik uygulamanın verimliliği, ömrü, performansı, bakım yapılabilirliğinin değerlendirilmesi,
- Yeni uygulamalar için malzeme seçimi
- Malzemelerin aşınma ve sürtünme özelliklerinin belirlenmesi,
- Seçilen uygulamadaki aşınma mekanizmalarının belirlenmesi,
- Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarının karakterize edilmesi,
- Aşınmandan dolayı meydana gelen malzeme kayıplarının araştırılması **(Bhushan,B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund,U., 2001., 2001; Değerli, B., 1996) .**

Aşınma türlerinin çok çeşitli olması ve aşınmanın çok sayıda değişken tarafından etkilenmesi sebebiyle aşınmayı tanımlamak için de o derece farklı aşınma test yöntemleri geliştirilmiştir. Aşınmayı karakterize eden,ortaya koyan test değişkenleri olarak kuvvet

veya basınç, yüzey pürüzlülüğü veya sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, aşınma ortamı (kuru, yağlı, nemli, korozyif, abrasif) ve temas şekli sayılabilir (**Karamış, B., İpek, R., 1999**). Malzeme ve malzeme çiftinin özelliklerinin de test sonuçları üzerinde son derece etkili olduğu düşünülürse, aşınma test yöntemlerinin çeşitliliği daha iyi anlaşılabilir. Test yöntemlerinin tasarımını etkileyen diğer bir unsur da, testlerin gerçek işletme koşullarında yapılmayıp, bu testlerin laboratuvar koşullarına indirgenerek yapılmasıdır (**Karamış, B., İpek, R., 1999**).

Deneylerde gerçek çalışma koşullarının kullanımı, en güvenilir yöntemdir. Bununla birlikte araştırma amaçları için sadece bir veya birkaç faktörün göz önüne alındığı koşullarda, tasarlanan test makinaları ile laboratuvar araştırmalarının yapılması daha uygundur.

Laboratuvar aşınma testleri, aşınmayı meydana getiren sistemlerin denenmesi ya da pratik uygulamaları benzetmek için uygulanır ve aşınma oranları üzerine faydalı tasarım değerlerine ulaşılabilir (**Değerli, B., 1996**).

Tribolojik testleri, test edilmek istenen sisteme yakınlığına göre gruplandırmak mümkündür. Genellikle test sisteminin gerçekliği istenir ancak birçok sebepten ötürü gerçeklikten uzaklaşılabilir. Maliyet, test süresi, test şartlarının kontrolü veya istenilen belli bir aşınma mekanizmasının çalışması gibi nedenlerden dolayı test edilecek mekanizmanın belli kademede modellenmesi yapılabilir (**Bhushan, B., Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**). Tribolojik testleri sınıflandırmak için kullanılan yöntemlerin en yaygını Şekil 1 de gösterilen ve saha testine ilaveten beş basitleştirilmiş testi içeren yöntemdir. Şekildeki örnekte bir otomobil motorundaki piston silindir sistemindeki aşınma araştırması; makine, sistem, elemanlar ya da örneğin fonksiyon ve yapısıyla ilişkili olarak altı değişik klasmanda sınıflandırılmıştır (**Bhushan, B., Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

Saha testi: Gerçek işletme koşulları altında gerçek sistemin denenmesidir. Gerçek makine ile yapılan bu deneyler, sistemin gerçek performansını ortaya koyar ancak bu test oldukça maliyetlidir. Geniş bir yelpazedeki gerçek işletme koşullarını karakterize etmede sıkıntılar yaşanabilir. Kendini tekrar eden deneylerde, deney sonuçlarının istatistiksel olarak kabul görmesi bir hayli zordur (**Değerli B., 1996**).

Laboratuvar ortamında ürün testi: Kolaylaştırılmış ve gerçeğe benzetilmiş işletme şartları altında reel sistemin denenmesidir (**Değerli B., 1996**).

Alt sistem testi: Maliyetleri düşürmek amacıyla sadece etkin olan alt sistemin kontrol altındaki laboratuvar koşullarında test edilmesidir. Test edilen alt sistem düşünüldüğü gibi model değil, makinenin bir bölümüdür (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

Bileşen testi: Alt sistem testinin daha da kolaylaştırılmış şekli olarak sadece önemli bileşenlerinin kullanıldığı testtir (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

Basitleştirilmiş bileşen testi: Test şartlarının kontrol derecesini ve verimi yükseltmek için basitleştirilmiş bileşen testi kullanılır. Test bileşenlerinin modelleri yapılır ve aynı zamanda bu testler sistemin tribolojik şartlarına benzer şartlarda olur (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001; Değerli B.,1996**).

Model Testi: Basit model testleriyle çok çeşitli malzemeler istenilen test koşullarında; basit, çabuk ve düşük maliyetli olarak test edilebilir. Sürtünme ve aşınma işlemlerinin esas çalışmalarında öncelikle bir şekilde kullanılır (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

2.2.3 Aşınma Testlerinin Değerlendirilmesi :

Aşınma testlerinin değerlendirilmesinde büyük çoğunlukla kullanılan yöntem tartarak aşınan kütlenin hesabı ve boyutsal değişikliklerin (ör: aşınma izi genişliğinin değişimi ve aşınma hacmi) ölçülmesidir. Bazı hallerde aşınma yüzeye aynı olmayacak bir şekilde dağılmış olacağından, bölgesel aşınma hasarlarının ölçümü toplam kütle giderinden daha manalı olacaktır (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

Ayrıca, aşınma süresince;

-sürtünme kuvveti veya katsayısı,

- aşınma atıklarının şekli,

-aşınan yüzey sıcaklığı ve yüzey oksidasyonu

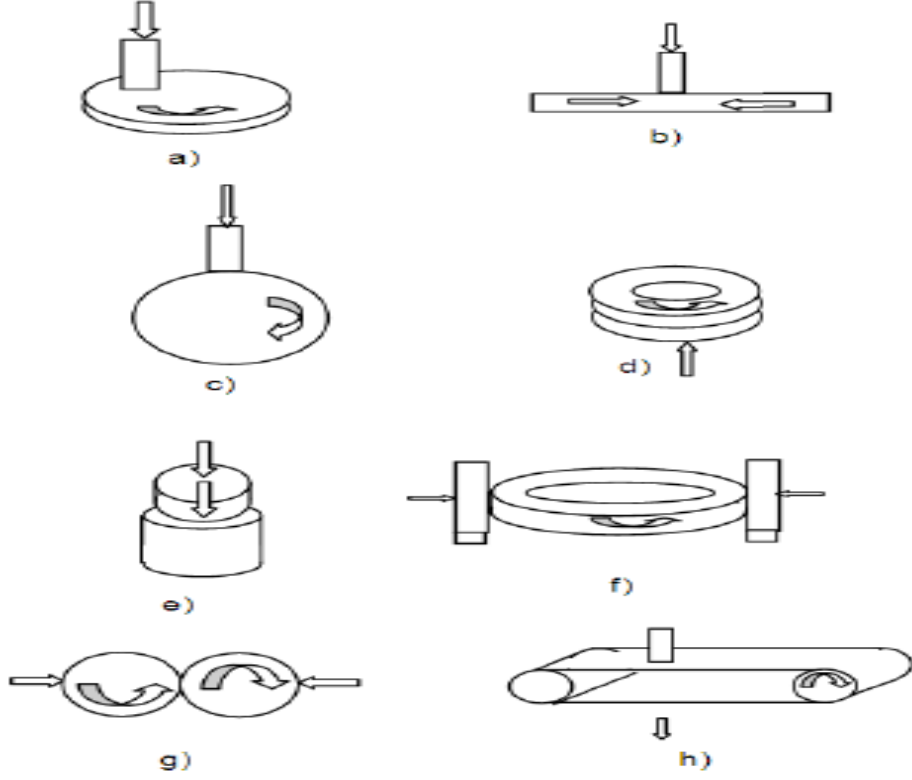
-yüzey sertlik değişimleri de testlerin değerlendirilmesinde değişken olarak kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayıdır ki; aşınma ölçümleri esansında yüzey mikroskopisi ve topografisi teknikleri çokça denenmektedir (**Karamış B.,M., ve İpek R.,1999**) .

Aşınma testlerinin değerlendirmesinde esnasında yüzey hasarının ömür limitinin belirlenebilmesi için aşınma tipinin bilinmesi önemlidir. Hasarın yüzey üzerindeki yeri, aniden mi yoksa yavaş yavaş mı gerçekleştiği, aşınmadan önceki yüzeyin ve aşınmadan sonraki yüzeyin karşılaştırılması, aşınmış yüzeyde kesit alınıp derin hasar olup olmadığının araştırılması, karşı yüzeye herhangi bir madde transferi olup olmadığının belirlenmesi, aşınma atıklarının şeklinin ve kimyasal bileşiminin belirlenmesi değerlendirme prosesinin uygulanması gereken adımlarıdır (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**).

Sürtünme ve aşınmanın etkisi, bunların doğal dalgalanması ve zamana bağlı değişimi sonucunda “dağınık veri” elde edilmesi aşınma testlerinin en önemli problemlerinden biridir. Bu sistematik ve rastgele sapmaların doğacak etkileri de hesaba katılmalıdır. Verilerin bu birbirinden bağımsız olmasından dolayı bir tribolojik sistem için tek bir örnek test edilmesi çokta güvenilecek bir durum değildir (**Bhushan, B.,Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**). Çok sayıda numunenin kullanılması ve bu numuneleri eşit koşullarda test yapılması de oldukça güç olduğu için; aşınmanın sürekli olarak denetlenmesi ve sonuçlarının hızlı bir şekilde ve az sayıda test numuneleri ile irdelenmesi için elektronik kontrollü ve bilgisayar destekli test ve kontrol çeşitleri geliştirilmiştir (**Karamış B.,M., ve İpek R.,1999**).

2.2.4 Aşınma Test Cihazı Modelleri :

Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standartlaştırılan model cihazların geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribo-sistemi oluşturan unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması amaçlanır. Parametrelerin kolayca kontrol edilebilmesi ve değiştirilebilmesi, deney sonuçlarının tekrarlanabilir olması bu cihazlardan beklenen özelliklerdir. Kayma sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil de şematik olarak özetlenmiştir (**IATS’09**).



Şekil 1.10. Şematik kayma sürtünme ve aşınma test modelleri (Demirci, A. H., 1982, Hutchings, I. M., 1992-. Bhushan, B., 1999-Ünlü, B. S., Atik, E., Meriç, C., 2002-Soydan,Y., Ulukan, L.,1988).

a) Pim-disk, b) Pim-levha, c) Pim-silindir, d) itme pulları (thrust washers), e) Pim-kovan (pim-into-bushing), f) Levha-silindir, g) iki disk, h) Levha-kayış.

Model aşınma cihazlarıyla yapılan testlerin amaçları genellikle şöyle sıralanabilir:

- sistem elemanlarının verimini,
- ömrünü, güvenilirliğini, fonksiyonunu,
- bakım yapılabilirliğini belirlemek, kalite kontrolü yapmak,
- malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarını belirlemek,
- malzeme kayıplarının araştırılması,
- yeni malzeme veya sürtünme

- aşınma azaltıcı yöntemlerin geliştirilmesi (**Şafak H.,E.,2008**).

Kayma sürtünmesinin önemli uygulamalarından olan kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pim-silindir, levha-silindir gibi model deney cihazları kullanılmaktadır. Bu modeller, deneylerin yapılması ve ölçümlerin kolaylığı bakımından avantajlıdır.(**Şafak H.,E.,2008**)

2.3 Yağlama

Eğer kontak halinde olan makine elemanları,direkt sürtünme altında,bu ekipmanların aralarında makine yağı gibi sürtünmeyi azaltıcı ya da engelleyici bir maddeyle çalışmazlarsa,makine elemanlarının çalışma verimliliği azalacak ve elemanlar aşınmaya ve fonksiyonlarını yitirmeye başlayacak.Bu aşınmaları ve sürtünmeleri ortadan kaldırmak için yağlama işlemi yapılmalıdır (**Süer,A.,2009**) Yağlayıcı maddeleri fiziksel hallerine göre katı,sıvı,yarı katı ve gaz yağlayıcılar olarak dört grupta incelemek mümkündür.Gaz yağlayıcılar genelde pek tercih edilen ve kullanılmayan yağlardır (**Akbulut H.,2006**).

2.1.3.1 Yağlayıcı Çeşitleri :

2.3.1.1 Sıvı Yağlayıcılar :

Sıvı yağları başlıca organik(hayvansal ve bitkisel),madensel(mineral) ve sentetik yağlar olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.3.1.2 Organik Yağlar :

Hayvansal veya bitkisel kaynaklı yağlardır.İyi yağlama özelliklerine sahip olmalarına rağmen en büyük problemleri kısa ömürlü olmalarıdır.Günümüzde kullanımları oldukça sınırlıdır.Modern teknolojik uygulamalarda daha çok mineral yağlar kullanılmaktadır.

2.3.1.3 Sıvı Mineral Yağlar :

En çok kullanılan yağ tipidir.Mineral yağlar fosil kökenli yakıtların distilasyonu ile elde edilirler.Mineral yağların maliyetleri oldukça düşüktür.Bu nedenle birçok endüstriyel uygulamalarda kullanılırlar.

2.1.3.1.4 Sentetik Yağlar :

Sentetik yağlar bu yüzyılın başlarında geliştirilmiştir.Sentetik yağlar pahalı olması nedeniyle başlarda fazla kabul görememiştir.Fakat mineral yağların kullanılmanın yetersiz kaldığı uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir olmaları,kullanım alanlarını geliştirmiştir.Mineral yağlar düşük maliyetlerine rağmen yüksek sıcaklıklarda kötü oksidasyon özellikleri,viskozite düşüşleri,güçlü oksitleyici bulunan ortamlarda yanmaları ve patlamaları,düşük sıcaklıklarda katılaşmaları gibi dezavantajlara sahiptir.Bu nedenle sentetik yağlar giderek yaygın hale gelmektedir **(Ezirmik,K.V.,2008)**.

2.3.1.5 Katı Yağlayıcılar :

Katı yağlayıcılar,sıvı yağlayıcıların kullanımının sınırlı olduğu yerlerde kolayca kullanılabilirler.Birbirlerine karşı izafi hareket yapan iki yüzey arasındaki katı yağlayıcının fonksiyonu,temelde sıvı yağlayıcılara benzer.Temas noktaları üzerinde az değerinde sürtünme sağlamak ve aşınma hasarlarını minimuma indirmek için kolay kaymayı sağlayan materyaller,katı yağlayıcı olarak kullanılırlar **(Ezirmik,K.V.,2008)**.

Katı yağlayıcıları kendi içinde ;

- Lameller yağlayıcılar.
- Yumuşak metaller.
- Polimerler.
- Kompozitler.
- Oksit katı yağlayıcılar olarak sınıflandırmak mümkündür.

Katı yağlayıcılar malzemenin cinsine göre farklı katsayılarda malzemelere etki ederler.

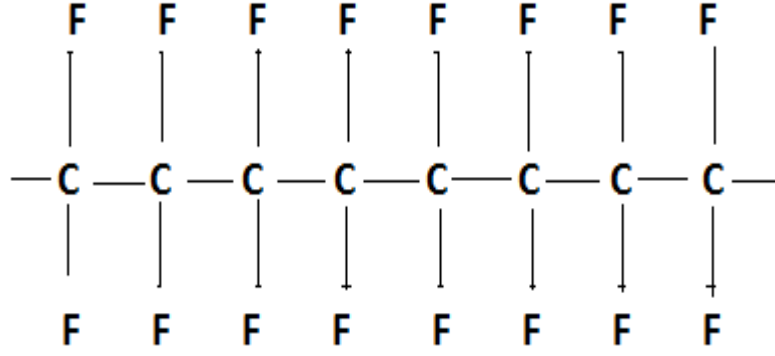
Sınıflandırma	Örnekler	Sürtünme katsayısı
Tabakalı katlar	MoS ₂ , WS ₂ , HBN, Grafit, H ₃ BO ₃	0,002-0,7
Yumuşak metaller	Ag, Pb, HBN, Grafit, H ₃ BO ₃	0,2-0,35
Karışık oksitler	CuO-Re ₂ O ₇ , CuO-MoO ₃ , PbO-B ₂ O ₃	0,1-0,35
Tek oksitler	CuO-Re ₂ O ₇ , ZnO, MoO ₃ , substokiyometrik TiO ₂	0,1-0,6
Toprak alkali metallerlerin sülfat ve halojenleri	CaF ₂ , BaF ₂ , SrF ₂ , CaSO ₄ , BaSO ₄	0,15-0,4
Karbon esaslı katılar	Elmas, elmas benzeri karbon, fulerenler	0,02-1
Organik malzemeler/polimerler	Zn stearite, sabun, mum, PTFE	0,04-0,4
Kütlesel veya kalın kompozit filmler	WS ₂ , MoS ₂ , Ag vb. katkı metal, polimer veya seramik matris kompozitler	0,05-0,4
İnce kompozit filmler	PTFE, grafit, elmas vb. ilaveli elektronik kaplamalar	0,05-0,5

Tablo 1.3. Çeşitli katı yağlayıcılar için sürtünme katsayıları (Ezirmik K.V.,2008).

Lameller; yapılı katıların kristal yapılarında, aynı tabakada bulunan atomların birbirleri ile daha yakın olduğu ve daha kuvvetli bağlarda bağlandığı, tabakaların ise birbirlerinden uzak olduğu ve zayıf (van der Waals) bağlarla bağlandığı görülür. Böylece tabakaların rölatif hareket yapması kolaylaşıyor. Bu da düşük sürtünme sağlar.

Yumuşak metallerde; düşük sürtünmenin elde edilmesinin temeli; bu malzemelerdeki çoklu kayma sistemleri, hızlı rekristalizasyon ve toparlanmanın deformasyon sertleşmesini engellemesi oluşturur. Böylece yumuşak metalik malzemeler uzun ömürlü yağlayıcı olarak kullanılırlar.

Polimer yağlayıcılar; polimer esaslı kompozitlerde tribolojik uygulamalarda kullanılır. Nylon, Asetal, Polietilen Polietilende H atomlarının yerini F alırsa Polimer: Polytetra floretan (PTFE) şeklini alır (Akbulut H.,2006).



Şekil 1.11. PTFE'nin atomik yapısı (Akbulut H.,2006).

Birçok tribolojik uygulamada sürtünme ve aşınmayı azaltmak için sıvı veya gres tipi yağlayıcılar kullanılmaktadır. Fakat çok yüksek veya düşük sıcaklıklar, vakum, radyasyon, çok yüksek temas basıncı gibi ağır çalışma koşullarında sürtünme ve aşınma problemlerinin çözümü için katı yağlayıcıların kullanımı mecburiyeti ortaya çıkmaktadır. Katı yağlayıcılar yalnız başlarına veya sıvı yağlar içerisinde karıştırılarak kullanılabilirler (Bhushan, B., Gupta, B. K., 1991).

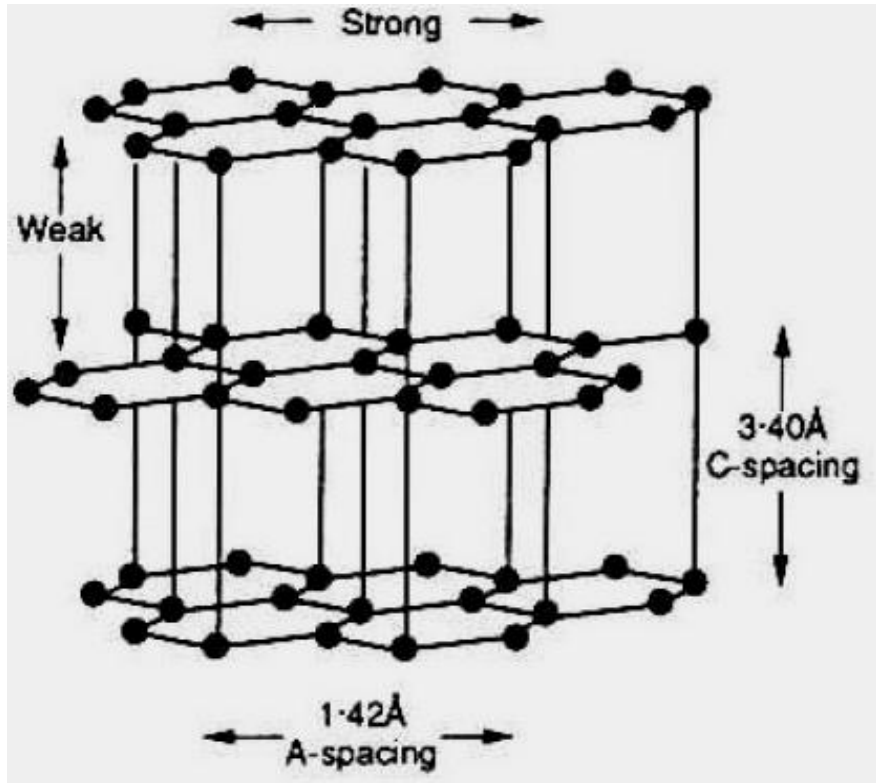
En çok bilinen katı yağlayıcılar;

-Grafit

-Hegzagonal bor nitrür.

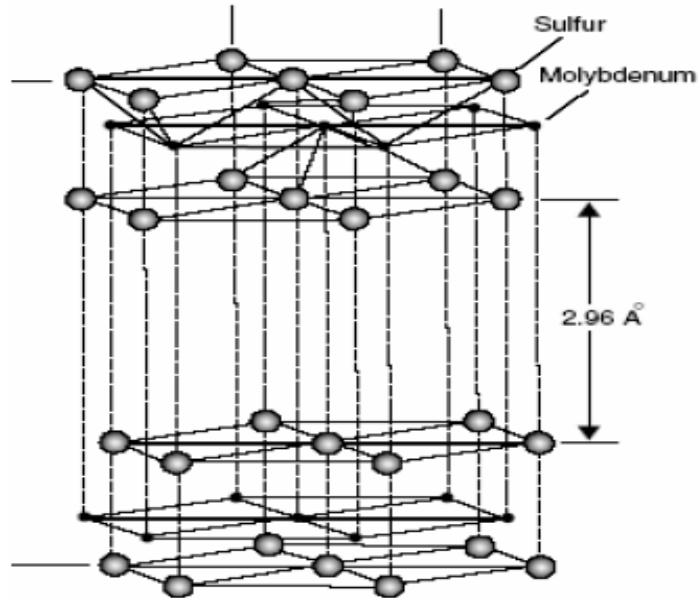
-MX₂(burada M; MO, W, NB, TA gibi geçiş elementleri X ise sülfür, selenyum veya tellürü sembolize etmektedir.)

Grafit; motor ve jeneratörlerde mekanik sızdırmazlık ve iletken fırçalar olarak kullanılır. Toz halde katı yağlayıcı olarak yaygın olarak kullanılır. Normal atmosferde kullanılır. Vakumda yağlayıcı olmaz. Atmosferik şartlarda nem veya diğer buhar esaslı ortamlarda grafit daha yoğun hidrokarbonlar gibi yağlayıcı oluşturur. Maksimum 450 °C sıcaklığa kadar kullanılabilir (Akbulut H., 2006).



Şekil 1.12. Grafitin atomik yapısı (Akbulut H.,2006)

MOS₂; Özellikle uzay araçlarının hareketli mekanik parçalarında kullanılır. Yüzeye püskürtme, reçine ile bağlanmış WS₂ nin özellikleri de MoS₂ ye çok yakındır.



Şekil 1.13. Molibden di-sülfürün(MoS₂) atomik yapısı(Akbulut H.,2006).

Tüm bu katı yağlayıcılarda aynı paralel düzlemlerdeki atomlar arasında kuvvetli, tabakalar arasında ise zayıf (van der Waals) bağları mevcuttur. Yüzeyde oluşan bir kuvvetin etkisi ile bu tabakaların birleri üzerinde kolayca hareket eder. Bu ise kaymayı kolaylaştırarak düşük sürtünme oluşumuna neden olur (**Bhushan, B., Gupta, B.K., 1991**).

3. KAKAO

Kakao doğal yetiştirme alanı Güney Amerika olmakla beraber, Tropiklerin genelinde yetiştirilmektedir. Teobromin adlı bir alkaloid eldesinde ve kakao yağı eldesinde kullanıldığı gibi, kakaonun tohumları da çikolata yapımında kullanılmaktadır.

Kakao, (*Theobroma cacao*) 4-8 metre boyunda ebegümecigiller familyasından bir bitki türüdür.



Şekil 2.1. Kakao bitkisi.(<http://goreanreference.50megs.com>)

Kakao tohumunun birleşiminde;

-% 2-3,5 Purinalkaloidler (% 1,5-3 ünü teobromin, % 0,2-0,3

kafein ve çok az miktarda teofilin içerir),

- % 10-15 fenollü bileşikler,

- % 50 lipidler (% 95-99 trigliseritler ve % 0,5-2 serbest yağ asitlerinden oluşur),

-% 10-15 proteinler ve aminoasitler ile az miktarda azotlu bileşikler bulunur.

(<http://www.hammaddeler.com/>)

3.1 Kakao Yağı

Kakao yağı, solgun sarı renkli, saf yenebilir bir bitkisel yağıdır, yumuşak çikolata lezzetine ve aromasına sahiptir. Piyasada katı bloklar halinde bulunan kakao yağı, isteğe bağlı olarak gıdaya uygun tankerlerde sıvı halde sevk edilir.

Kakao yağı, çikolata imalatının hammaddesini oluşturur. Kakao yağının erime sıcaklığından dolayı sıklıkla ilaç yapımında, tıbbi alanda kullanılır. Oda sıcaklığında saklanabilir, fakat vücut sıcaklığında kolayca erir.

3.2 Kakao Yağının Kimyasal Özellikleri

Kakao ucundan presleme işlemi ile elde edilen kakao yağı şu özellikleri gösterir:

-2°C'nin altında gevrek yapıdadır.

-30°C - 32°C civarında yumuşama özelliği gösterir. Çikolata oda sıcaklığında katı halde iken ağız içinde kolaylıkla erir ve bu kakao yağının katkısıyla olur.

-Yaygın olan katı kakao yağının erime noktası ortalama 34–38°C'dir.

Gliseridler	Yüzde
Üçlüdoymuş	2,5 ile 3,0
Üçlü doymamış	1
İkili doymamış	
Stearo-diolein	6 ile 12
Palmito-diolein	7 ile 8
Teklidoymamış	
Oleo-distearin	18 ile 22
Oleo-palmitostearin	52 ile 57
Oleo-diplmitin	4 ile 6

Tablo 2.1. Kakao yağındaki gliserid yüzdeleri (<http://www.food-info.net/tr>).

3.3 Kakao Tozu

Kakao tozu, kakao kitlesinden oluşur. Presler yağın bir kısmını uzaklaştırmak için kullanılır ve kakao pres keki denilen katı bir madde bırakırlar. Bu kek daha sonra kakao tozu oluşturmak üzere ufak parçalara kırılır. Farklı kompozisyonlarda ve farklı miktarlarda yağ içeren kakao tozu üretmek için işlemler değiştirilebilir (**Beckett S.T., 1994**).

Nem %	3
Kakao yağı	11
Ph(%10 süspansiyon)	5,7
Kül %	5,5
Suda çözünür kül %	2,2
Kakodaki K ₂ O cinsinden suda çözünür kül alkidesi %	0,8
Fosfat %	1,9
Klorür %	0,04
% 50 'lik HCl'de çözünmeyen kül	0,08
Kabuk % (alkalize olmayan uç için hesaplanmıştır.	1,4
Toplam azot	4,3
Azot(alkaidler için düzeltilmiştir) %	3,4
Protein	
Alkaloidler için düzeltilmiş azot x6.25 %	21,2
Teobromin %	2,8

Tablo 2.2. Kakao tozundaki kompozisyonu(<http://www.food-info.net/tr>).

3.4 Kakaonun Kurutulması

Fermantasyona uğramış kakao çekirdekleri güneşte ya da kurutma makinalarında kurutulurlar. Kurutma işlemine nem içeriği % 7'ye ininceye kadar devam edilir. Fermantasyon ve kurutma işlemiyle, tohum gömleği değişikliğe uğrar ve daha sonraki işlemlerde kolay ayrılabilir bir yapı kazanır.

Fermantasyon ve kurutmadan sonra kimyasal kompozisyonuna ait bir analiz sonucu aşağıdaki gibidir;

	Uç % Maksimum	Kabuk % Maksimum
Su	3,2	6,6
Yağ(Kakao)	57	5,9
Kül	4,2	20,7
Azot		
Toplam azot	2,5	3,2
Teobromin	1,3	0,9
Kafein	0,7	0,3
Nişasta	9	5,2
Ham Lif	3,2	19,2

Tablo 2.3 Fermantasyon ve kurutma işleminden sonra kakaonun kimyasal yapısı (**Dand R., 1993**).

Kurutma işleminde uygulana sistemler sanayinin bir çok alanında (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) çok fazla uygulanmaktadır(**Ceylan, İ., Doğan, H., 2004**).

4.GIDA KURUTMANIN AVANTAJLARI

- Gıdanın su içeriği azaltılarak enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalar sınırlandırılır. Raf ömrü artan ürünler daha uzun süreli kullanılabilirlik kazanır.
- Gıdanın ağırlık ve hacmi azaldığı için ambalajlama, taşıma ve depolamada kolaylık sağlanır.
- Özel şartlara gerek duyulmadığından (soğutma, kontrollü atmosfer vb.) muhafazası ve depolanması daha kolay ve ucuzdur.
- Kurutulmuş gıdaların diğer muhafaza yöntemlerinden farklı olarak, suyu azaltılarak besin öğeleri yoğunlaştırılmış olduğundan, besin değerleri artırılmıştır.
- Özel kullanım alanları vardır, tüketilmeleri daha kolay ve çabuk olur, ambalajı açıldıktan sonra parçalı olarak tüketilebilir.
- Kurutma diğer muhafaza ve işleme yöntemlerine göre daha az teknoloji, işçilik ve makineye gereksinim duyduğundan, en ucuz ürün değerlendirme yöntemidir.**(Yaşar M., 2008)**

4.1 Kurutmayı Etkileyen Faktörler :

Kurutma işlemi üzerine genel olarak;

- Ürün çeşidi
- Hasat şekli ve zamanı
- Taşıma
- Hammadde depolama
- Kurutma işlemleri
- Kurutma yöntemleri ve makineleri etkilidir.

Kurutma işleminde; kuruma hızı ,son ürün kalitesi bakımından en önemli kriterlerden birisidir. Kuruma hızının istenilen şekilde seyir göstermesi için;

- Kurutucu havanın sıcaklığı

-Kurutucu havanın nemi ve ürün üzerinden geçiş hızı

-Kurutulacak ürünün şekli

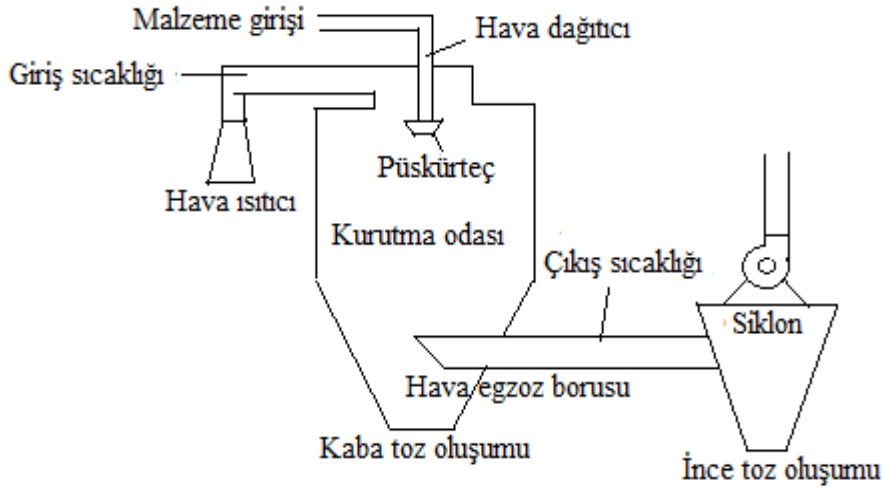
-Yüzey alanı

-Kurutulacak ürünün kendine has bileşimi etkili faktörlerdir.

5.PÜSKÜRTMELİ KURUTMA YÖNTEMİ

Püskürterek kurutma (spray-drying) yöntemi sıvı,yarı sıvı, püre ve ince pulp halindeki yarı işlenmiş ya da gıdaların dehidrasyonunda(su kaybı) uygulanan en gelişmiş ve komplike methodlardan birisidir (Yaşar M., 2008).

Püskürtmeli kurutucu sistemde, püskürtme nozulu (atomizör) yardımıyla kurutulacak çözeltinin sıcak gaz akışı içerisine ince damlacıklar halinde püskürtüldüğü düşey ve genellikle silindirik bir kurutma odasıdır (McCabe, W.L., 1984) .



Şekil 4.1. Püskürtmeli kurutucunun şematik gösterimi (Banchero, J.T., Badler, W.L., Çataltas, D., (Çeviren), 1986).

Püskürterek kurutmada temel prensip, ürünün kurutma hücresindeki sıcak hava içerisine atomize edilerek, geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece hızlı bir kuruma sağlanmasıdır. Püskürtmeli kurutucuda atomizör tarafından oluşturulan damlacıklar sıcak hava akımı ile temas eder etmez damlacık yüzeyinde buharlaşma olayı başlar.(Koç B.,”2008) Bu anda damlacık yüzeyindeki sıcaklık yas termometre sıcaklığındadır. Damlacıktan nemin uzaklaştırılması, yüzeyde oluşan kabuktan nemin difüzyon hızına bağlı olup zamanla oluşan kabuk kalınlaşarak nem difüzyonu da azalır ve kuruyan tanecik çok kısa sürede (1-10 saniyenin altında) havanın çıkış sıcaklığına ulaşmadan kurutma kabinini terk eder (Geankoplis, C.J., 1983; Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W.,

Maus, L., and Anderson, L.B., 1976). Dolayısıyla ürün çıkış sıcaklığı hava çıkış sıcaklığının altında kalmaktadır.

Püskürtmeli kurutucudan çıkan sulu malzemelerle hava dağıtıcıdan yollanan sıcak hava karışımı;

Paralel akım

-Zıt akım

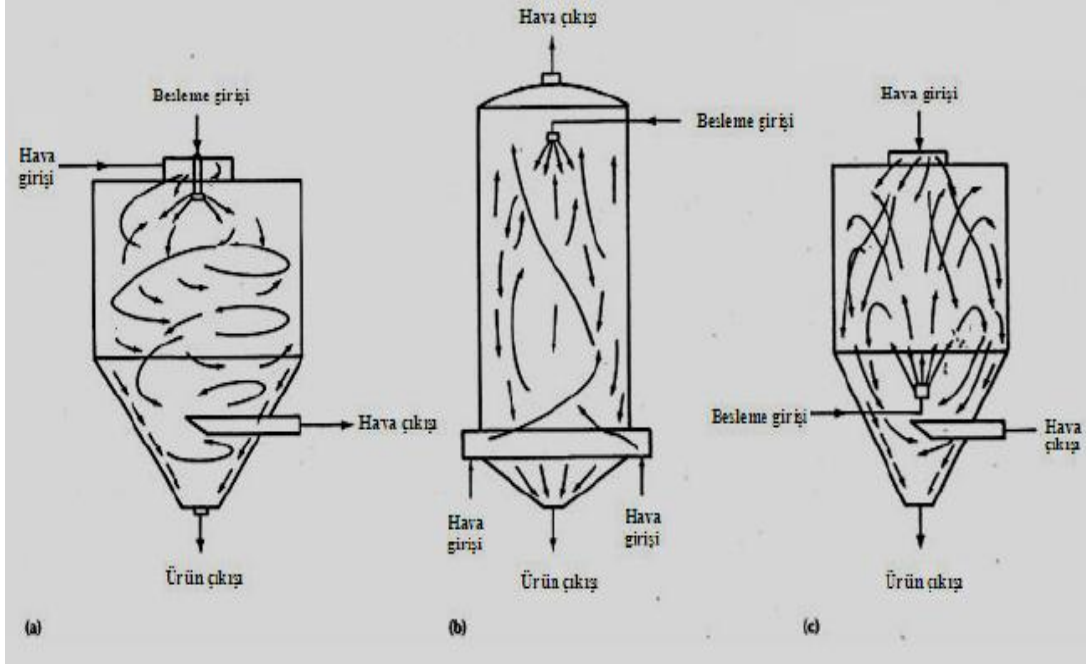
-Karışık akım olarak üç'e ayrılır.

Paralel akım modelinde; atomizör cihazı, kurutmanın üst tarafında ve hava dağıtıcının yakınında bulunur (**Şekil 4.2**) Damlacıklar oluşumundan hemen sonra sıcak havaya maruz kalmaktadırlar. Damlacıkların nem miktarı azaldıkça, daha soğuk hava ile karşılaşılır ve yüzey sıcaklıkları artmaz. Bu akım yöntemi dönel atomizer kullanılan sistemlerde tercih edilir.

Paralel akım kurutmasında; geniş partiküllerin maksimum sıcaklığı, kurutmanın çıkış sıcaklığından yaklaşık 10°C daha az olmalıdır. Sıcak bölgeyi geçerken damlacıktan sıvı ayrıldığı zaman oluşan buharlaşma, soğumaya neden olur. Daha hızlı kuruyan ince partiküller, kurutmanın Giriş (başlangıç) sıcaklığına yakın sıcaklarda oluşur(**Lukasiewicz, S., 1991**)

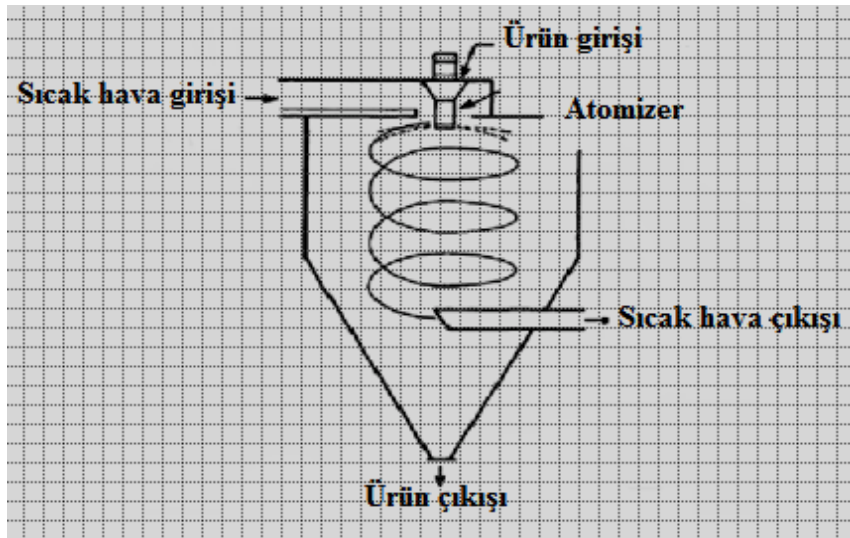
Ters akım kurutmasında, ters Akım şartları atomizör cihazı kurutma odasının en üstüne ve hava dağıtıcının en alta yerleştirildiği zaman oluşur (Sekil 4.6.b). Oluşumdan hemen sonra, damlacıklar serin rutubetli (nemli) hava ile karşılar. Bununla birlikte, onların nem içeriği azaldıkça onlar artarak daha hızlı havaya maruz kalırlar. Yüksek iç sıcaklıklar taneciklerde fark edilebildiğinden organik bağlayıcılarda ısı hassasiyeti olmamalıdır (**Lukasiewicz, S., 1991**).

Karışık akım şartları doğru ve ters hava akımının bir birleşimidir. Çoğunlukla bu tip fıskiye tip kurutucularda kullanılır. Fıskiye tipi kurutucuların, kurutma odasının temelinde püskürteç ağızlığı yer alır ve hava dağıtıcı, odanın üstünde yer alır. Karışık akım şartları genellikle ufak laboratuvar şeklindeki kurutucularda pnömatik ağızlık ile birleşiminde kullanılır (**Lukasiewicz, S., 1991**).



Şekil 4.2. Püskürtmeli kurutucularda damlacık-hava karışımlarının tipleri (**Lukasiewicz, S., 1991**) . Paralel Akım b) Ters Akım c) Karışık Akım.

Kuru tanecik, yüksek basınç pompasından oluşan basınçtan kazandığı kinetik enerji ile bir süre kurutma haznesi cidarına doğru hızla uçar, yan cidara çarpar, yansır ve enerjisini yitirir. Daha sonra serbest düşme ile aşağı doğru düşer. Aslında bu iniş doğrusal değildir. püskürtme nozülünün hemen üstündeki türbilans pulundan dolayı türbilanslı düşüş meydana gelir. (**Banchero, J.T., Badler, W.L., Çataltas, İ., (Çeviren), 1986.**)



Şekil 4.3 Püskürtme kısmının şematik şekli (**Koç B.,2008**).

Püskürterek kurutmanın diğer yöntemlere göre üstünlükleri;

- Üstün dehidrasyon yeteneği
- Kısa dehidrasyon süresi
- Tek düze ürün büyüklüğü ve şekli
- Yüksek üretim kapasitesi
- Temiz ürün ve az üretim maliyeti olarak sıralanabilir.

Püskürterek kurutmanın belirli dezavantajları ;

- Yüksek kuruluş maliyeti
- Ekipman boyutları
- Belirli parçacıkların kurutulması şeklinde özetlenebilir.

Gıda endüstrisi dışında endüstri dalları olarak ilaç, gübre, yem, boya, plastik, seramik, toz sabun ve deterjan üretiminde kullanılmaktadır.

6.DENEYSEL ÇALIŞMA

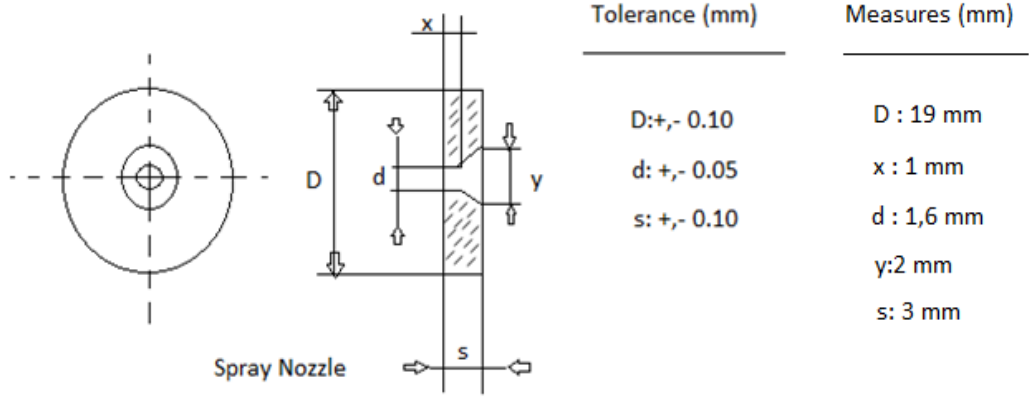
6.1 Giriş

Bu bölümde kakao kurutmayı sağlayan püskürtme nozullarının kakaoyu istenilen şekilde kurutması(atomize etmesi) ve püskürtme nozullarının yapıldığı farklı türden çeliklerin kakao kurutma tesisine yüksek basınç ve sıcaklıkta gelen kakaoya karşı aşınmalara karşı mukavemetlinin maksimum düzeyde olması için çeliklerin hangi talaşlı ve ısıl işlemlerden geçip püskürtme nozulu olarak kakao kurutma tesisinde atomizer olarak kullanıldığı anlatılmıştır.Ve hangi püskürtme nozulunun kakao ve kakao yağından dolayı meydana gelen aşınmalara karşı en fazla dayanım gösterdiği belirlenmiştir.

6.2 Deneysel Prosüdür

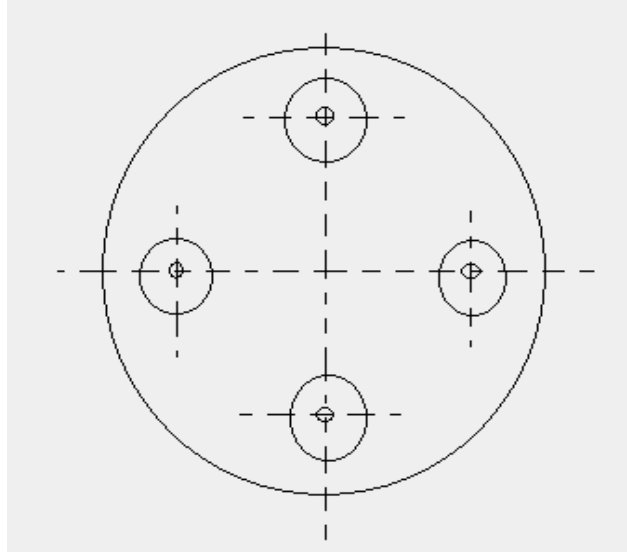
6.2.1 İşlenen Parçalar

Kakao kurutma tesisindeki deneyde püskürtme nozulı olarak; 1.2379 soğuk iş takım çeliği, 1.2550 sıcak iş takım çeliği, 1.3340 yüksek hız çeliği ve 1.4140 ıslah çeliği olmak üzere 4 adet takım çeliği kullanıldı.



Şekil 5.1. Püskürtme nozulının teknik ölçüleri.

- Püskürtme nozulları tolerans ölçülerine göre işlendi. 4 adet püskürtme nozulı da kakao kurutma tesisinde aynı zamanda kullanıldı. Bu püskürtme nozulları aralarında 90° açı olacak şekilde dairesel olarak konumlandılar.



Şekil 5.2. Püskürtme nozullarının tesisteki dağılımları.

Püskürtme nozulları kakao kurutma tesisinde homojen bir şekilde dağılım gösterir. Bu homojen dağılım kakaonun eşit bir şekilde kurutulup tüketilmeye hazır hale gelmesini sağlar.



Şekil 5.3. Parçaların işlendiği torna makinası

6.2.2 Püskürtme Nozullarının Spektral Analizleri

1.2550 püskürtme nozulı ;

Sonuçlar:

C = 0,57370	Si = 0,48300	Mn =0,34200
P = 0,02200	S = 0,00560	Cr =0,96300
Mo=0,0690	Ni = 0,05100	Al = 0,02500
Co =0,02100	Cu =0,03700	Nb =0,00760
Ti = 0,00280	V = 0,18900	W= 1,86000
B=0,00110		

Tablo 5.1 1.2550 püskürtme nozulının spektral analizi.

1.2379 püskürtme nozulı ;

Sonuçlar:

C = 1,41100	Si = 0,35900	Mn =0,31800
P = 0,02700	S = 0,01240	Cr = 11,7300
Mo=0,71800	Ni = 0,29400	Al = 0,00300
Co =0,02400	Cu = 0,08400	Nb =0,02400
Ti = 0,00380	V = 0,94000	W = 0,04100
Pb =0,00200	Sn =0,00860	Mg = 0,004
Zr = 0,0040	Bi = 0,002	Sb = 0,017
B = 0,0005	Zn = 0,014	N = 0,046

Tablo 5.2 1.2379 püskürtme nozulının spektral

Analizi.

1.3343 püskürtme nozulı;

C = 0,81500	Si = 0,31300	Mn=0,31100
P = 0,02700	S = 0,00910	Cr = 3,96400
Mo =4,2960	Ni =0,15800	Al = 0,0560
Co =0,25500	Cu= 0,07600	Nb =0,03000
Ti = 0,00380	V = 1,67700	W = 5,70800
B = 0,00270		

Tablo 5.3 1.3343 püskürtme nozulının spektral analizi

1.4140 püskürtme nozulı ;

C= 1,40670	Si =0,22800	Mn=0,84300
P = 0,00900	S = 0,00940	Cr =1,04100
Mo=0,1690	Ni=0,03500	Al =0,00300
Co=0,00400	Cu=0,04400	Nb=0,00500
Ti =0,00200	V =0,00510	W = 0,0100
Pb=0,00200	Sn=0,00200	Mg = 0,0020
Zr=0,00400	Bi = 0,002	Sb = 0,012
B = 0,005	Zn = 0,001	N = 0,005

Tablo 5.4 1.4140 püskürtme nozulının spektral analizi

Bu değerler KOSGEB İkitellinin laboratuvarındaki OES –SPEKTROLAB M5cihazıyla okunmuştur.



Şekil 5.4. Spektral analizin yapıldığı cihaz.

6. 2.3 Parçaların Isıl İşlemleri

Her takım çeliğine ayrı ayrı ısıt işlemler uygulandı. Isıt işlemler, malzemenin uygun sertlikte ve kırılğanlıktı olması için yapılan işlemlerin bütünüdür. Isıt işlemlerde için vakumlu fırın ve tuz banyosu QUANTUM METAL fabrikasından yararlanıldı.

1.2379 Soğuk iş takım çeliğine uygulanan işlemler;

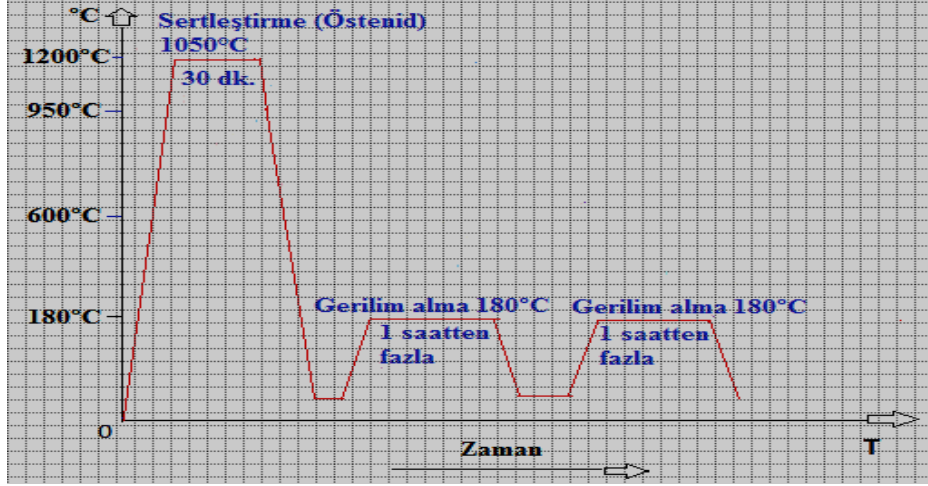
-Isıt işlem Vakumlu fırında yapıldı.(Isıt işlem süresince çelik vakumlu fırından çıkmadı.)



Şekil 5.5. Isıt işlemde kullanılan vakumlu fırın.

-Fırın içinde çeliği sertleştirmek için 1050°C çıkarılarak östenid yapıya getirildi ve oda sıcaklığına soğutularak tavlama işlemi yapıldı.

-Östenid yapıya gelen çelikte gerilmeleri azaltmak için fırında 180° C ye çıkarılan çelik 2 defa meneviş hale getirildi ve tekrar vakum ortamında oda sıcaklığında ısıtıl işlem tamamlandı.



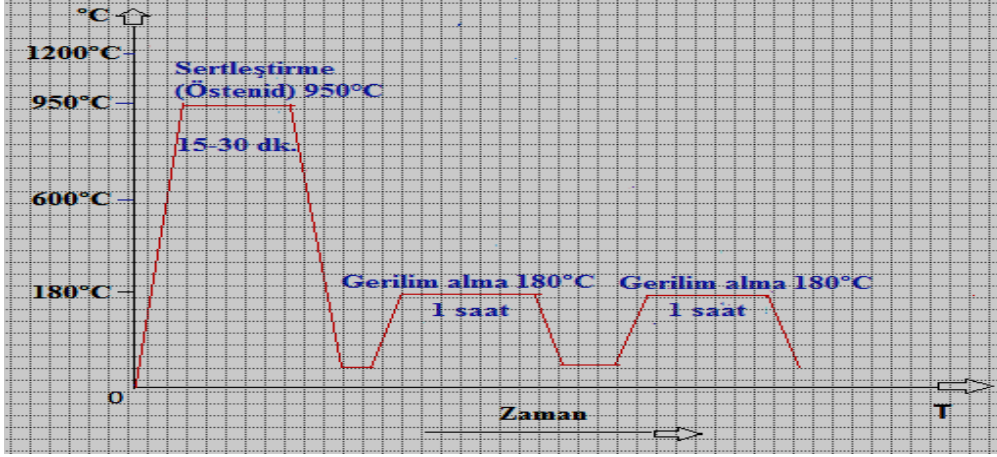
Şekil 5.6. 1.2379 Soğuk iş çeliğinin ısıtıl işlemini gösteren diyagram.

1.2550 Sıcak iş takım çeliği için ısıtıl işlemler;

-Isıl işlem Vakumlu fırında yapıldı.

-Fırında çeliği sertleştirmek için 950°C çıkarılarak östenid yapıya getirildi ve oda sıcaklığına soğutularak tavlama işlemi yapıldı.

-Östenid yapıya gelen çelikte gerilmeleri azaltmak için fırında 180°C ye çıkarılan çelik meneviş hale getirildi ve tekrar vakum ortamında oda sıcaklığına getirildi.(Meneviş yapıya 2 defa getirildi.)



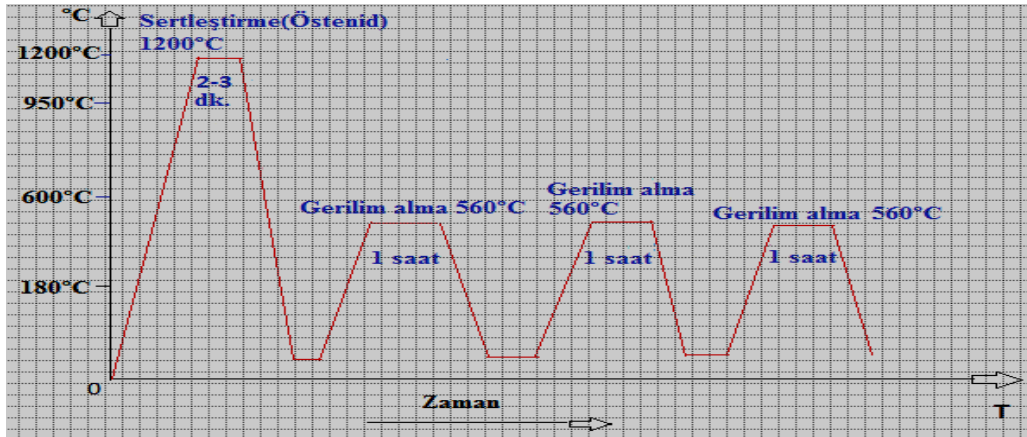
Şekil 5.7.1.2550 Sıcak iş çeliğinin ısı işlemini gösteren diagram.

1.3343 Yüksek hız takım çeliğinin ısı işlemleri ;

-Isıl işlem Vakumlu fırında yapıldı.

-Fırında çeliği sertleştirmek için 1200°C çıkarılarak östenid yapıya getirildi ve oda sıcaklığına soğutularak tavlama işlemi yapıldı.

-Östenid yapıya gelen çelikte gerilmeleri azaltmak için fırında 560°C ye çıkarılan çelik meneviş hale getirildi ve bu işlem 3 kere tekrarlandı.Son olarak vakum ortamında oda sıcaklığına getirildi.



Şekil 5.8. 1.3340 Yüksek Hız çeliğinin ısı işlem sırasını gösteren diagram.

1.4140 Islah çeliğinin ısıt işlemleri ;

-Isıl işlem Tuz Banyosunda yapıldı.Tuz banyosu Baryum Klarür içeren tuz bulunur ve bu tuz nötrdür.Tuz banyosundaki nötr tuzla ıslah çeliğinin korozyonu önlenmiş olur.



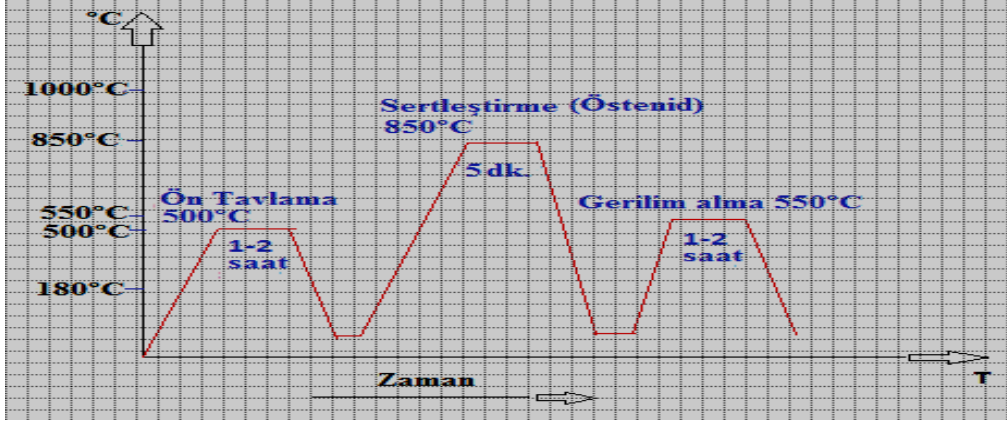
Şekil 5.9. 1.4140 ıslah çeliğinin ısıt işleminin yapıldığı tuz banyosu.

-İlk olarak çeliğe tuz banyosunda 500°C ön tavlama yapılır.

-Çelik, tuz banyosunda sertleştirmek için ısıtılarak 850°C ye ısıtılarak östenid yapıya getirilir.

-Isıtılarak östenid yapıya getirilen çelik yağda oda sıcaklığına soğutulur.

-Son olarak çelik tuz banyosunda 550°C çıkarılarak meneviş hale getirilir ve dışarıda tekrar oda sıcaklığına soğutulur.



Şeki 5.10 .1.4140 ıslah çeliğinin ısııl işlem sırasını gösteren diagram.

6.2.4 Malzemelerin Yüzey Sertliklerinin Ölçülmesi

Püskürtme nozullarına talaşlı işleme ve ısııl işlemler öncesinde ve sonrasında Rocwell sertlik deneyleri yapıldı.



Şekil 5.11. Rocwell sertlik deneyinin yapıldığı cihaz

Bu ölçüm için MATSUZA WA DXT-3 sertlik cihazı kullanıldı. Bu deney için KOSGEB İkitelli laboratuvarlarından yararlanıldı. Bu deneye göre;

Nozıl cinsi	İşleme ve ısıl işlem öncesi sertlik	İşleme ve ısıl işlem sonrası sertlik
1.2379 püskürtme nozulu	26 HRC	64 HRC
1.2550 püskürtme nozulu	23 HRC	59 HRC
1.3343 püskürtme nozulu	25 HRC	61 HRC
1.4140 püskürtme nozulu	22 HRC	62 HRC

Tablo 5.5. Püskürtme nozullarının sertlik değerleri.

6.2.5 Parçaların Yüzey Pürüzlülük Değerlerinin Ölçülmesi

Malzemelere talaşlı işlemlerin ve ısıl işlemlerin öncesinde ve sonrasında, malzemelere yüzey pürüzlülük deneyleri uygulandı.



Şekil 5.12. Yüzey pürüzsüzlük deneyinin yapıldığı cihaz

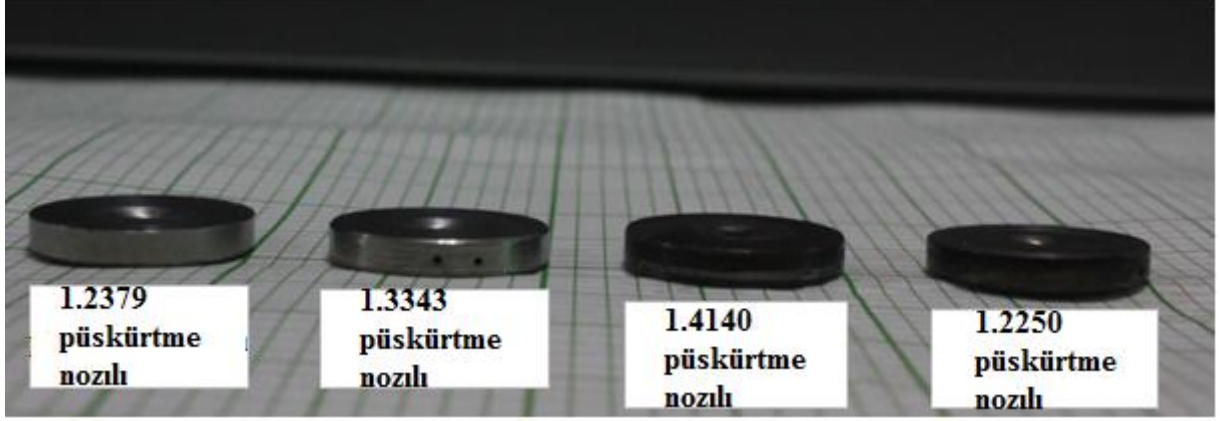
Bu deneyde TIME TR 300 cinsi cihaz kullanıldı. Bu deney için KOSGEB İkitelli laboratuvarlarından yararlanıldı. Bu uygulamaya göre ;

Parça kodu	Materyal	İşleme ve Isıl işlem öncesi yüzey pürüzsüzlüğü	İşleme ve Isıl işlem öncesi yüzey pürüzsüzlüğü
1	1.2379 püskürtme nozulu	3,2 Ra(μ m)	0,8 Ra(μ m)
2	1.2550 püskürtme nozulu	5,6 Ra(μ m)	1,6 Ra(μ m)
3	1.3343 püskürtme nozulu	6,2 Ra(μ m)	1,4 Ra(μ m)
4	1.4140 püskürtme nozulu	4,8 Ra(μ m)	1,2 Ra(μ m)

Tablo 5.6. Püskürtme nozullarının yüzey pürüzlülük değerleri.

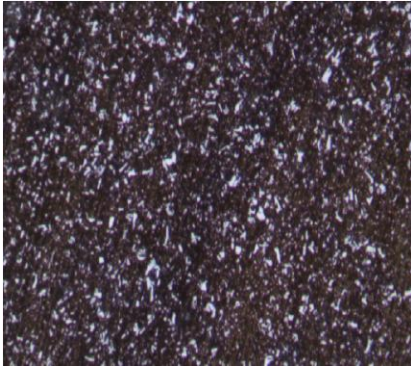
7. SONUÇLAR VE İRDELEME

Püskürtme nozulları kakao kurutma tesisinde kullanılıp sistemden çıkarıldıktan sonra, malzemelerin fotoğrafları çekilmiştir.



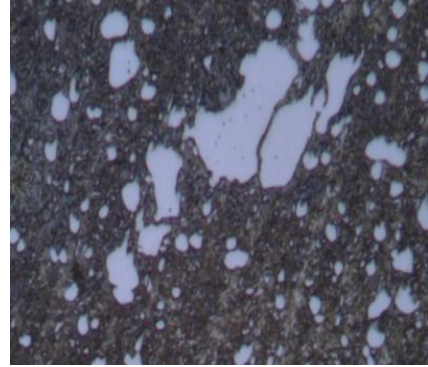
Şekil 6.1 .Püskürtme nozullarının kullanıldıktan sonraki durumları

Küçük ölçeklerde bütün partiküllerin farklı yapısı vardır.Bu yapılar malzemelerin cinsine bağlıdır.Bu partiküllerdeki farklı mikroyapıları görmek için KOSGEB İkitelli’de püskürtme nozullarının mikroyapıları incelendi.



Şekil 6.2. 1.3343 püskürtme nozulunun mikroyapısı (50 kere büyütülmüş)

- Karbon taneleri homojen dağılım göstermektedir.Heterojen yapıda değildir.



Şekil 6.3.1.3343 püskürtme nozulunun mikroyapısı (500 kere büyütülmüş)

- Karbon tanelerinin büyüklükleri Homojen değildir.

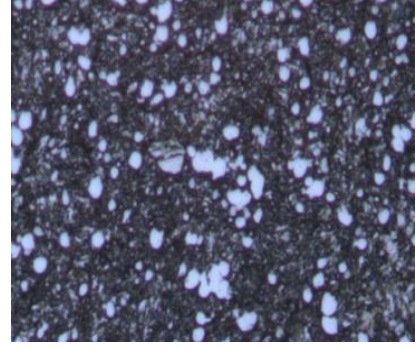


Şekil 6.4.1.2379 püskürtme nozulının mikroyapısı
(50 kere büyütülmüş)

-Heterojen yapılar yoktur..

Karbür taneleri 1.3343 den küçüktür.

Karbür taneleri homojen dağılım gösterir.

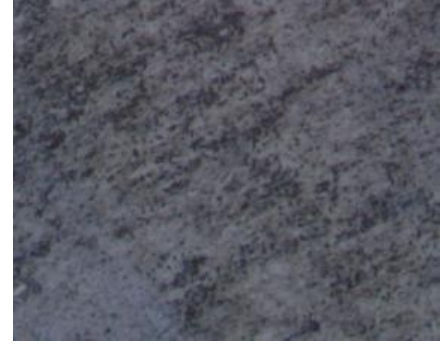


Şekil 6.6.1.2379 püskürtme nozulının mikroyapısı. (500 kere büyütülmüş)

–Karbür tane boyutları homojendir ve kümelenme gözükmez.



Şekil 6.5.1.2550 püskürtme nozulının mikroyapısı(50 kere büyütülm)



Şekil 6.7.1.2550 püskürtme nozulının mikroyapısı.(500 kere büyütülmüş.)



Şekil 6.8.1.4140 püskürtme nozulunun mikroyapısı

(50 kere büyütülmüş)

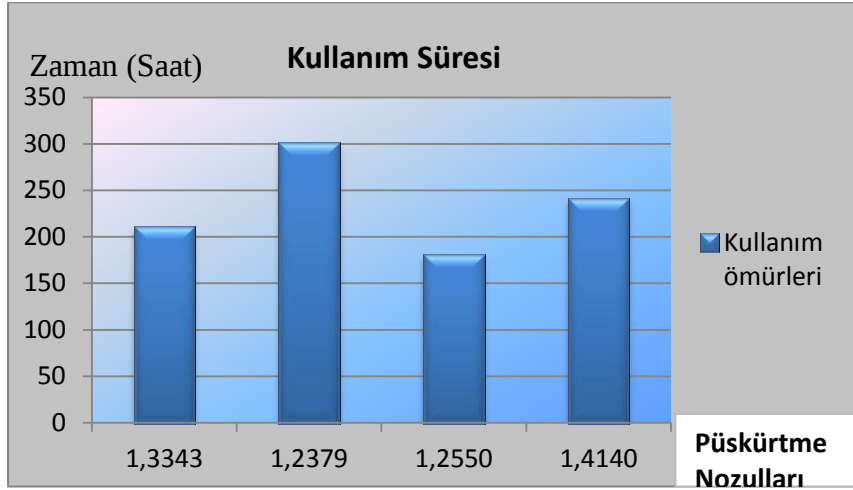
-Çelik ferrit fazdadır ve yoğun karbür oluşumu.

Gözükmez.

Şekil 6.9.1.4140 püskürtme nozulunun

mikro yapısı (500 kere büyütülmüş)

Püskürtmeli kurutma tesisinde kullanılan püskürtme nozullarına yüksek basınçta(180-200 bar) kakao partikülü geldiği için püskürtme nozullarının delikteki havşalarında ve deliklerde aşınmalar gözükte. Aynı esnada deliklerin havşalarında şişmeler ve deformasyonlar meydana geldiği gözlemlendi. Ayrıca nozullardaki deliklerde kakao partikülünün yüksek basınçla çarpmasından dolayı genişlemeler oldu. Bu değişimler büyüdü ve püskürtme nozulları kakaoyu tam olarak kurutamadı.Ömürlerini tüketen püskürtme nozulları kakao kurutma tesisinde kullanılmadı.

**Tablo 6.1 . Deneyden sonraki püskürtme nozullarının kullanım ömürleri****7.1 Sonuçlar**

Bu çalışmada,püskürtmeli kurutma,püskürtmeli kurutmanın yararları açıklandı ve püskürtmeli kurutma sistemi hakkında bilgi verildi.Ayrıca püskürtme nozullarının hangi işlemde geçtiği anlatıldı. Püskürtmeli kurutma tesisinde kullanılan püskürtme nozullarının iç yapılarını göstermek için mikroyapıları alındı.

- Aynı basınç ve sıcaklıkta kullanılan püskürtme nozullarının kullanım ömürleri belirlendi ve analizi yapıldı.Bu analizlere göre;

1.3343 püskürtme nozulı : 210 saat.

1.2379 püskürtme nozulı: 300 saat.

1.2550 püskürtme nozulı:180 saat.

1.4140 püskürtme nozulı:240 saat kullanılabildiği tespit edildi.

-Karbon oranı en yüksek olan püskürtme nozulunun en fazla aşınma dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

-Püskürtme nozullarının kullanım ömrünü püskürtme nozullarının sertlik ve yüzey pürüzlülük değerleri etkiler.

-Yüzey pürüzlülük değeriyle sertlik değeri püskürtme nozullarının kullanım ömrünü ters orantılı olarak değiştirir.

-Püskürtme nozulları talaşlı işlemle işlenip ısıtılardan geçtikten sonra yüzey pürüzlülük değerleri ve sertlik değerleri ölçüldü.

-Bu ölçümlere göre püskürtme nozullarından Karbon (C) oranı en fazla olan , talaşlı işlemlerden ve ısıtılardan sonra sertliği en fazla olup yüzey pürüzlülüğü en az olan püskürtme nozullarının kullanım ömrünün en fazla olduğu tespit edildi.

Bu tespiti göre tesiste kullanılan 4 adet püskürtme nozullarının arasında,1.2379 sıcak iş takım çeliğinden üretilen püskürtme nozulunun 12,5 gün (300 saat) le en fazla kullanım ömrüne sahip olduğuna ve kakao kurutma tesisinde kullanılması en uygun takım çeliği olduğuna karar verildi.Aşınmalara daha dayanıklı olan bu püskürtme nozulıyla (1.2379) daha uzun süre kakaoyu kurutmasından dolayı hem kakao kurutma tesisinin verimi artar hem de tesiste daha az sayıda püskürtme nozulu kullanılacağından tesisin malzeme maliyeti azalır.

KAYNAKLAR

- **Şafak H.,E.,2008**,Yüzeyi PVD İle Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi.Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi.
- SheffieldUniversity,2008**,
<http://www.shef.ac.uk/mecheng/tribology/teaching/whatistribology.htm>
- **Vikipedi, Triboloji, Aralık 2008**, <http://tr.wikipedia.org/wiki/triboloji#s.c3.bcr.c3.bcnme>
- **Akkurt M., 2000**, Makina Elemanları, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., Cilt 1-2, İstanbul
- **Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., 2001**, Engineering Tribology, Butterworth Heinemann, Australia.
- **S.Umut,2008**,Çok Amaçlı Bir Tribometre Konstrüksiyonu,Yüksek Lisans Tezi,İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.
- **Koç,E.,2004**,Makine Elemanları Cilt 2.Nobel Kitabevi,Adana.
- **Yaman S., 2008**,Sürtünme Kuvveti, Ocak <http://w3.gazi.edu.tr/web/syaman/hareket9.htm>
- Babalık, F.C., 2000, Makine Elemanları Ve Konstrüksiyon Örnekleri, Vipaş A.Ş., Cilt 2, Uludağ Üniversitesi, Bursa
- Tülay Y., Ali Kaya G.,2006** , Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- **BeliceT. 2002**, Bilim ve Teknik Dergisi
http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=4&soru_id=2695
- **Özdemir, U., Erten M., 2003**, Talaşlı İmalat Sırasında Kesici Takımda Meydana Gelen Hasar Mekanizmaları Ve Takım Hasarını Azaltma Yöntemleri, Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi,Cilt 1 Sayı 1(37-50)
- **Vikipedi, 2007a**, Aşınma, Aralık 2007 de<http://tr.wikipedia.org/wiki/a%c5%9f%c4%b1nma>
- **Ludema, K.C., 1996**, Friction Wear Lubrication A Textbook In Tribology, Crc Press, Florida

- **Değerli, B., 1996**, Aşınma Deneylerinde Kullanılan Deney Düzenekleri, Mühendis ve Makine, Cilt : 37, Sayı : 432
- **Karamış, B., M., İpek, R., 1999**, Aşınma Test Yöntemleri Ve Gelişmeler, Mühendis Ve Makine, Cilt :40, Sayı : 469
- **Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye
- **Hutchings, I. M.,1992**,“Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, Arnold, London.
- **Bhushan, B.,1999**, “Principles and Applications of Tribology”, John Willey & Sons, Inc., New York.
- **Bhushan,B.,Gupta,B.K.,1991**.Handbook of tribology:materials,coatings,and surface treatments,McGraw-Hill,New York.
- **Ünlü, B. S., Atik, E., Meriç, C.,2002**.“Kaymalı Yataklarda Asınma Mekanizmaları”, Makine Metal Teknolojisi, Sayı. 127, s. 45-50.
- **Soydan,Y., Ulukan, L.,1988**, “Sürtünme ve Asınma Direnci Ölçme Yöntemleri”, 8. Uluslararası Makine Tasarım ve malat Kongresi, ODTÜ, s. 581-588.
- **Prof.Dr.Akbulut H.,2006**”Katı Sürtünme Testleri”Sakarya Üniversitesi,Metaruluji Ve Malzeme Mühendisliği.
- **Lukasiewicz, S., 1991**. Granulation and Spray Drying, Ceramic and Glasses, ASM International.
- **Demirci, A. H., 1982**“Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu”, Doçentlik Tezi, E. Ü. Makine Fakültesi, 8-44.
- **Koç, R;Mutlu, İ 2005 Recep KOÇ, İbrahim MUTLU(2005)**, Poli-Oksi-Metilen (Pom) Ve Kompozitlerinin Abrasiv Aşınma Davranışları, Teknoloji Dergisi, Sayı2, 199–205

- **Meb, 2000**, Metal Meslek Bilgisi, 2. Basım, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Isbn 975-11-1008-4

- **Bhushan, B., Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001**, Modern Triboloji Handbook, Chapters: 13,19,26

-**Ezirmik K., V., 2008**, Mo-N-Ag Nanokompozit Kaplamaların Üretimi Ve Tribolojisi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- **SÜER A., 2009**, Yağlama Yağlarında Yağ Asidi Esterlerinden Katkı Maddesi Olarak Kullanımının Yağlayıcının Aşınma Önleme Özelliklerinde Ve Yağlayıcılık Performanslarına Etkisinin İncelenmesi., Ege Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

-(<http://goreanreference.50megs.com>)

-(<http://www.hammadeler.com/>)

-(<http://www.food-info.net/tr>)

- **Beckett S.T., 1994**, Industrial chocolate manufacture and use. Second edition. Blackie Academic & Professional.

- **Dand R., 1993**, The international cocoa trade. Woodhead Publishing.

- **Ceylan, İ., Doğan, H., 2004**, “Nem kontrollü kondenzasyonlu kereste kurutma fırını”, II. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi.

- **Yaşar M., 2008**,” Nar Suyuna Farklı Oranlarda Maltodekstrin Eklenerek Püskürtmeli Kurutucu İle Nar Suyu Tozu Elde Edilmesi Üzerine Bir Çalışma.” Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- **McCabe, W.L., 1984**. Unit Operations of Chemical Engineering, 5th Edition, London.

-Banchero, J.T., Badler, W.L. (transleted by Çataltaş D.) 1986,Introduction to Chemical Engineering, Istanbul,Volume 3.

- **Koç B., 2008**,”Püskürtmeli Kurutma Yöntemi İle Yoğurt Tozu Üretim Koşullarının Optimizasyonu”Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi.

- **Geankoplis, C.J., 1983**, Transport Processes and Unit Operations. (2nded.) Allyn and Bacon Series in Engineering, USA.

- **Foust, A.S., Wenzel, L.A., Clump, C.W., Maus, L., and Anderson, L.B., 1976**, Principles of Unit Operations. (2nd ed.). John Willey and sons, Inc USA.

ÖZGEÇMİŞ

Bahadır YILDIRIM 1985 yılında Bursa’da doğdu. İlköğrenimini çeşitli okullarda tamamladıktan sonra orta öğrenimini Sultan Fatih Kolejinde ve lise öğrenimini Kemal Hasoğlu Lisesi’nde bitirdi. 2004 yılında başladığı Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında tamamladıktan sonra aynı 2009 yılında Trakya üniversitende yüksek lisansına başladı. İstanbul da yaşamaktadır.